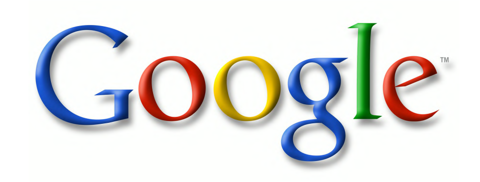
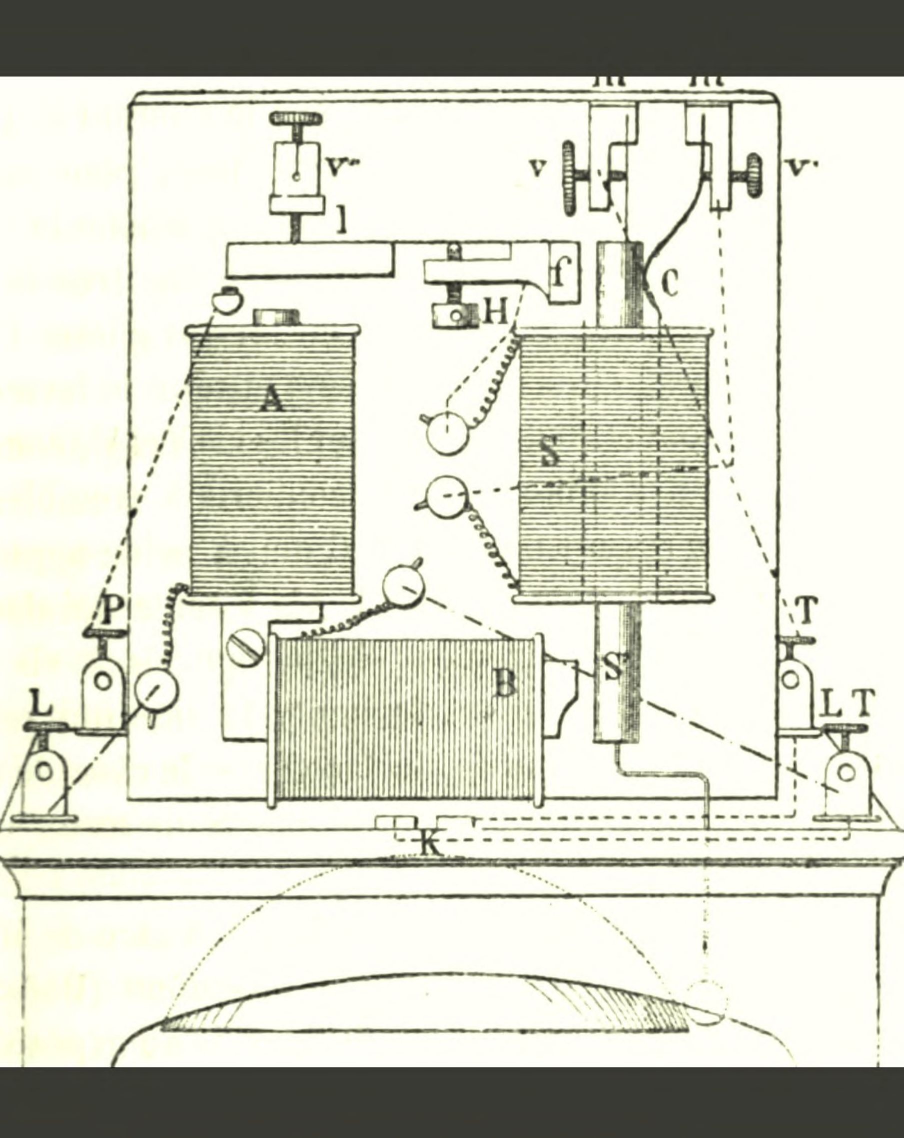
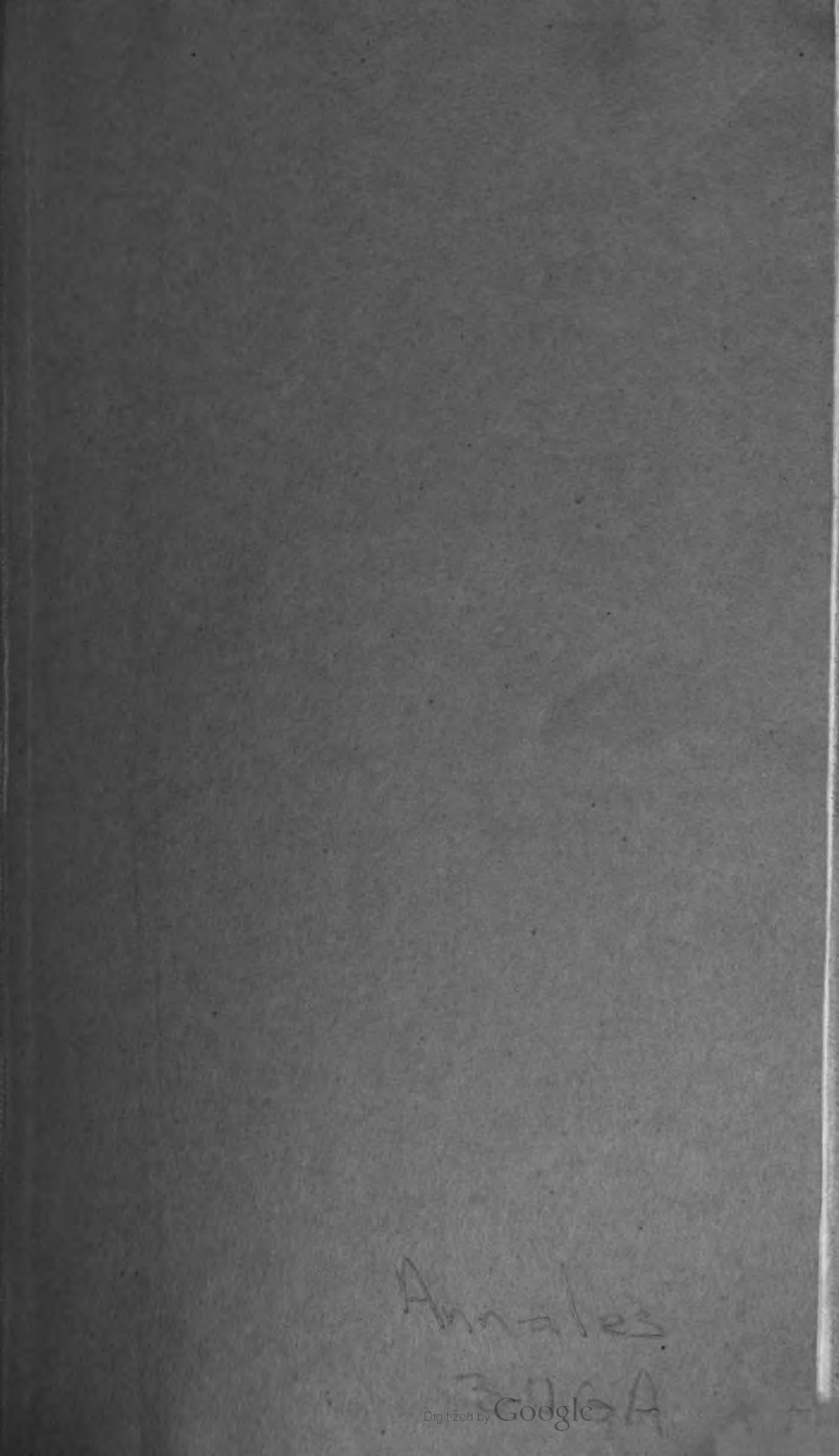




Annales télégraphiques




Annales

ANNALES

TÉLÉGRAPHIQUES

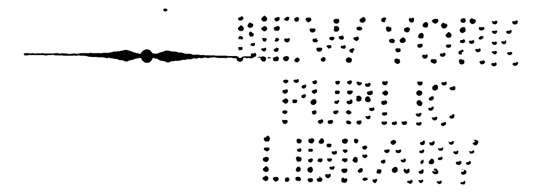
IMPRIMERIE C. MARPON ET E. FLAMMARION
RUE RACINE, 26, A PARIS.

ANNALES
TÉLÉGRAPHIQUES

TROISIÈME SÉRIE

TOME IX

Année 1882



PARIS

DUNOD, ÉDITEUR,

SUCCESSEUR DE Vve DALMONT

Précédemment Carillian-Gœury et Victor Dalmont

LIBRAIRE DES CORPS DES PONTS ET CHAUSSÉES, DES MINES ET DES TÉLÉGRAPHES

Quai des Augustins, 49

1882


ASTOR LIBRARY
JUL
17
1893
NEW YORK

ANNALES
TÉLÉGRAPHIQUES

Année 1882 **Janvier-Février**

EXPÉRIENCES

SUR

LA CHARGE ET LA DÉCHARGE D'UN CONDENSATEUR

A TRAVERS UNE RÉSISTANCE QUELCONQUE.

On admet généralement, et l'hypothèse est largement justifiée dans la pratique, que la charge d'un condensateur à travers un conducteur métallique se produit instantanément. On admet la même instantanéité pour la décharge, en laissant de côté toutefois les phénomènes de charges résiduelles.

Néanmoins, on a peine à admettre que la charge d'un condensateur de capacité déterminée s'effectue avec une même durée quelle que soit la résistance interposée entre le condensateur et la source. Nous avons entrepris des expériences dans le but d'étudier l'influence de telles résistances sur les charges ou décharges de condensateurs de diverses capacités; nos mesures directes ont accusé des différences de durée relativement considéra-

bles; en même temps elles nous ont permis de vérifier la théorie du phénomène telle que nous allons l'indiquer.

On la retrouvera dans Maxwell (*); la formule et les calculs ont d'ailleurs été reproduits dans l'ouvrage français de MM. Mascart et Joubert (**).

I. — Prenons un condensateur unique ou formé de plusieurs autres réunis en surface. Soit c sa capacité, ρ la résistance d'isolement de son diélectrique. Plaçons-le avec une source électrique de force électromotrice E, dans un circuit dont la résistance totale, non comprise celle du condensateur, est égale à R. Soit, à un instant quelconque, V la différence de potentiels de ses deux armatures. Au bout d'un temps dt, si dV est la variation de V, sa charge se sera accrue de $c \times c$dV. Ecrivons que cet accroissement est égal à la quantité d'électricité venue de la source par le circuit extérieur, moins la quantité qui a traversé dans le même temps infiniment petit le diélectrique de résistance ρ.

On aura

$$c \times c\,d\mathrm{V} = \left(\frac{\mathrm{E}-\mathrm{V}}{\mathrm{R}} - \frac{\mathrm{V}}{\rho}\right) dt.$$

$\frac{\mathrm{E}-\mathrm{V}}{\mathrm{R}}$ est d'après la loi de Ohm, pendant un temps infiniment petit, l'intensité du courant dans le circuit extérieur aux armatures, et de même $\frac{\mathrm{V}}{\rho}$ est l'intensité à travers le diélectrique.

Cette formule peut s'écrire

$$c \times c\,d\mathrm{V} = \left(\frac{\mathrm{E}}{\mathrm{R}} - \frac{\mathrm{V}}{s}\right) dt,$$

(*) *Electricity and Magnetism*, 2e édition, 1er vol., § 326.
(**) *Leçons sur l'électricité et le magnétisme*, p. 266.

en posant, pour abréger,

$$\frac{1}{s} = \frac{1}{R} + \frac{1}{\rho}.$$

On a encore

$$cs \frac{d\left(\frac{E}{R} - \frac{V}{s}\right)}{\frac{E}{R} - \frac{V}{s}} = -dt.$$

En intégrant, et en déterminant la constante par la condition que pour $t = 0$, on ait $V = 0$, on arrive facilement à l'expression suivante

$$(1) \qquad V = E\frac{s}{R}\left(1 - e^{-\frac{t}{cs}}\right).$$

Les expériences que nous allons décrire ont pour but de vérifier cette formule.

Avant d'aller plus loin, nous ferons remarquer que nous avons pu faire porter nos expériences sur des résistances extérieures R relativement petites. Ainsi, tandis que les résistances des divers diélectriques employés ne descendaient pas au-dessous de 25.000 mégohms, celles R du circuit extérieur ne dépassaient pas 10 mégohms. La plupart de nos observations ont même porté sur des valeurs de R égales à 0,1, 0,02 et même 0,01 de mégohm.

Aussi négligerons-nous tout d'abord dans l'expression de $\frac{1}{s}$ le terme $\frac{1}{\rho}$, ce qui ramène la formule (1) à la suivante plus simple

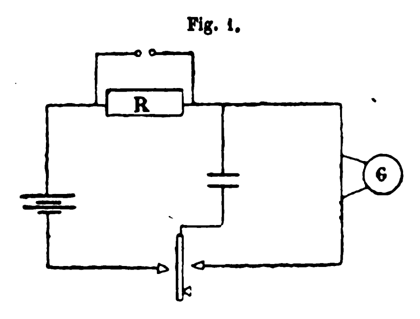
$$(2) \qquad V = E\left(1 - e^{-\frac{t}{cR}}\right).$$

II. — Pour vérifier cette formule aussi directemen que possible, il fallait pouvoir mesurer les différences de potentiel V à diverses époques *très rapprochées* du commencement de la charge. Dans ce but voici, en principe, la méthode adoptée :

Que l'on imagine une clef permettant de produire dans le circuit des émissions électriques d'une durée exactement connue, intermittentes et très rapides; supposons qu'on produise $n - 1$ de ces émissions, et que l'on fasse passer la $n^{ième}$ seulement à travers un galvanomètre de résistance négligeable; cette dernière par son action sur le galvanomètre indiquera d'une façon précise la valeur du courant de charge après un temps égal à n fois la durée d'une émission.

On pourrait également, après avoir chargé pendant ce temps connu, provoquer la décharge dans un circuit sans résistance comprenant un galvanomètre, et en déduire la quantité d'électricité primitivement reçue par le condensateur. La *fig.* 1 indique en principe la

Fig. 1.



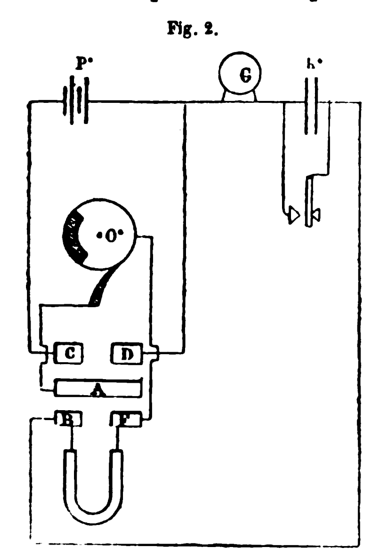
disposition de l'expérience. Cette méthode, lorsqu'il s'agit de produire des émissions très courtes, exigeait de trop grandes précautions, et n'était pas compatible avec une manipulation rapide nécessaire lorsqu'il s'agit d'opérer sur des résistances inférieures à 1 mégohm. Nous l'avons abandonnée pour nous en tenir à la première méthode.

III. *Disposition des expériences.* — La *fig.* 2 est une figure théorique. En P se trouve une pile de deux éléments Callaud; en C, D, A, B, F un commutateur;

entre B et F se trouve intercalée la résistance R, qu'on peut retirer du circuit en réunissant métalliquement les deux bornes B et F; en K un condensateur-étalon de capacité variable, et en G un galvanomètre de Thomson à déviations proportionnelles aux intensités.

En O est placée la clef que nous décrirons à part. Nous allons d'abord en indiquer le fonctionnement. La partie ombrée est une portion métallique en communication permanente avec la borne F du commutateur, le reste de ce cercle est isolé, et un frotteur fixe, s'appuyant sur la circonférence, est relié avec la pièce A du commutateur. Si, après avoir réuni C et A, on fait tourner le disque avec une vitesse déterminée et connue on produira sur le condensateur une charge d'une durée égale au temps que la portion métallique aura mis à passer devant le frotteur; et cette charge se sera effectuée sans résistance ou à travers la résistance R suivant qu'on aura ou non réuni directement B et F. Il en est de même pour chaque révolution de O; lorsque ce système est au repos, la pile se trouve isolée du condensateur, qui demeure alors dans l'état électrique où il se trouvait après la révolution précédente. Le système O tourne avec une très grande vitesse, que l'on peut faire varier, ainsi que l'étendue de la partie métallique. On a donc ainsi deux moyens pour

Fig. 2.



modifier à volonté la durée de charge. De plus, le mouvement de rotation est intermittent : il s'arrête après chaque révolution complète, et peut être reproduit à volonté immédiatement après.

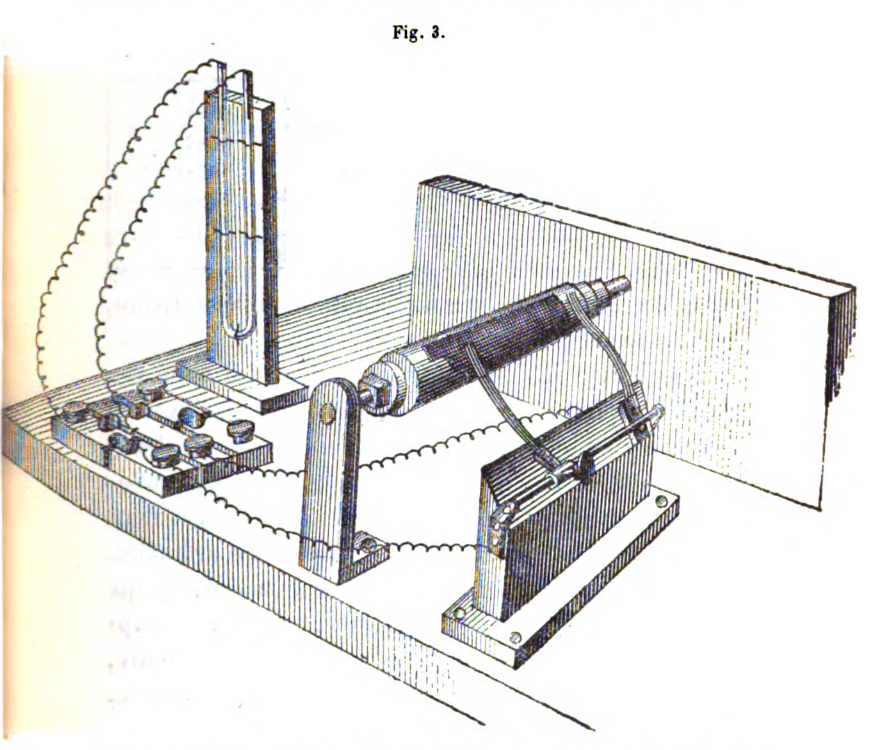
On voit donc que, si t est la durée d'un contact, et si l'on produit n révolutions de l'arbre, la durée de charge sera nt. D'autre part, si pendant les $n-1$ premières révolutions on met le galvanomètre en court circuit, pour ne le placer sur le courant de charge que pendant la $n^{ième}$ révolution, la déviation du galvanomètre indiquera la valeur du courant de charge à l'époque nt, indication qui sera d'autant plus précise que la durée t d'un contact sera plus courte. Dans la plupart de nos expériences, cette durée était de $0^s,0165$ environ et ne dépassait pas $0^s,09$.

Pour la décharge, la suite des opérations était la même, à la condition d'enlever préalablement la connexion C, A, et de réunir les deux bornes D, A.

Clef. — Cette clef a la forme d'un cylindre d'environ $6^c,5$ de longueur pour $2^c,3$ de diamètre. Ce cylindre est constitué par 12 rondelles d'ébonite de $0^c,5$ d'épaisseur emmanchées sur un même axe d'acier. Sur chacune de ces rondelles est fixée une virole de laiton. Les deux viroles extrêmes font le tour complet de la circonférence du cylindre; les autres ont été réduites à des arcs métalliques de diverses longueurs ; elles sont juxtaposées de façon que toutes leurs premières extrémités soient sur une même génératrice du cylindre, les secondes dessinant sur le cylindre une série de 10 échelons. L'ensemble de l'ébonite et des viroles constitue à l'extérieur une surface cylindrique et polie, sur laquelle viennent frotter par leurs extrémités deux balais de fil de laiton, qui ne rencontrent jamais d'aspérité de manière à donner un contact bien continu et d'une durée bien déterminée.

L'un de ces balais est fixe; il est placé sur l'une des deux viroles complètes, de manière à produire le contact permanent, qui correspond au contact en O de la figure théorique précédente, et qui est relié à la borne F du commutateur. Le second balai peut être déplacé parallèlement à l'axe du cylindre, de manière à passer

Fig. 3.



l'une quelconque des 10 viroles incomplètes. L'ensemble des deux balais, isolés l'un de l'autre, est porté par un bloc d'ébonite. Il reste à connaître la durée de chacun de ces contacts pour une vitesse de rotation déterminée du cylindre. Ces rapports auraient pu être déterminés par des mesures de longueur; mais pour plus de précision

on a mesuré directement, pour une vitesse connue de rotation, les durées des divers contacts au moyen d'un chronographe enregistreur de M. Mercadier. Voici les résultats obtenus. Ils expriment le rapport des durées de chaque contact à la vitesse de rotation du cylindre; chacun d'eux est une moyenne de dix expériences.

CONTACTS.	RAPPORTS.	CONTACTS.	RAPPORTS.
Nos 1	0,987	Nos 6	0,547
2	0,895	7	0,477
3	0,803	8	0,388
4	0,719	9	0,280
5	0,648	10	0,192

Voici comment a été obtenue la rotation intermittente, dont nous avons parlé.

L'axe du cylindre suffisamment prolongé et muni des cames et cliquets nécessaires a été substitué à l'axe des cames et à ses accessoires d'un appareil Hughes. L'abaissement d'une touche quelconque de cet appareil provoquait la rotation rapide et intermittente du cylindre, identiquement comme celle de l'arbre des cames ordinaire.

Il suffisait de connaître la vitesse du chariot, ce qui peut se faire avec une grande approximation en comptant un assez grand nombre de tours. On sait, en outre, que la durée de révolution de l'arbre des cames est sept fois moindre que celles du chariot : ce qui permet de la déterminer et d'en déduire au moyen du tableau précédent la durée du contact employé.

Avant de quitter cette description, nous ferons remarquer que nous nous étions assurés que les frottements des balais ne nous donnaient pas de courants étrangers de contact; ce qu'il était facile de prévoir grâce à leur

nature même, identique à celle des viroles, et à leur accouplement qui constituait deux contacts d'un même métal sur un second de même nature. En outre, aucune observation n'était entreprise avant d'avoir vérifié le parfait isolement du circuit, et l'avoir rétabli si l'on constatait la moindre trace de perte au galvanomètre.

IV. ***Résultats des expériences.*** —On vient de voir comment étaient obtenues des émissions de durées égales, déterminées et très rapprochées les unes des autres. Tout d'abord la première était envoyée dans le condensateur en agissant sur le galvanomètre. Si nous désignons par V_1 la différence de potentiels qu'elle a établie sur les armatures, la quantité d'électricité qui aura passé dans le circuit pendant ce temps est cV_1, quantité qui est proportionnelle à l'angle d'écart du galvanomètre, d'après la théorie de la mesure des courants instantanés. Donc la déviation de l'instrument indiquera une quantité proportionnelle à la différence des potentiels V_1.

On décharge ensuite le condensateur, et l'on produit deux nouvelles émissions d'égale durée ; la dernière seule étant reçue dans le galvanomètre. Si V_2 est la nouvelle différence de potentiels, la déviation actuelle du galvanomètre sera proportionnelle à la quantité d'électricité qui aura passé dans le circuit pendant ce temps, et par suite à $V_2 - V_1$.

D'une manière générale, et en continuant à opérer de même, à la $n^{ième}$ émission la déviation du galvanomètre sera proportionnelle à $V_n - V_{n-1}$.

Reportons-nous à la formule (2) que l'on peut écrire

$$V_0 = E(1 - e^{-n\theta}), \tag{3}$$

en posant, pour abréger, $n\theta = \frac{t}{cR}$.

Pour vérifier cette formule, on pourrait construire une courbe par points, d'après les résultats des expériences, et la comparer avec celle que représente l'équation précédente. Pour faire cette comparaison, il faudrait connaître la force électromotrice de la pile E et la constante du galvanomètre. Nous avons évité ces deux mesures peu commodes, et qui d'ailleurs auraient dû être plusieurs fois répétées, car les variations de la force électromotrice et de la constante du galvanomètre n'auraient pas été négligeables d'une série d'expériences à une autre, vu la petitesse des quantités d'électricité mesurées.

Dans ce but, nous avons vérifié la formule de la manière suivante qui ne suppose constantes que pendant un temps assez court, 15 minutes environ (c'est-à-dire la durée d'une série d'expériences), les deux quantités dont il est question :

1° Nous avons vu que l'observation nous donnait chaque fois une quantité proportionnelle à $V_n - V_{n-1}$.

$$V_n - V_{n-1} = k\alpha_n.$$

α_n étant la déviation du galvanomètre.

Or, d'après la formule (3),

$$V_n - V_{n-1} = Ee^{-n\theta}(e^{\theta} - 1) = k\alpha_n.$$

De même, on aurait

$$V_{n+1} - V_n = Ee^{-(n+1)\theta}(e^{\theta} - 1) = k\alpha_{n+1},$$

α_{n+1} étant la lecture suivante. De sorte que l'on aura

$$\frac{\alpha_{n+1}}{\alpha_n} = \frac{e^{n\theta}}{e^{(n+1)\theta}} = e^{-\theta}.$$

Donc les déviations observées doivent être en progression géométrique dont la raison est $e^{-\theta}$.

Par suite, dans chaque série d'expériences, on n'aura

qu'à comparer les rapports successifs $\frac{\alpha_{n+1}}{\alpha_n}$ déduits de l'expérience à la valeur de $e^{-\theta} = e^{-\frac{t}{cR}}$ que l'on peut calculer d'avance, les trois quantités t, c et R étant connues.

On peut même éviter ce calcul ; ce qui dispense de la connaissance de c, R et surtout de t. On a, en effet, pour la première émission de durée t

$$V_1 = E(1 - e^{-\theta}).$$

Si d'autre part on a également observé la déviation α pour la charge à travers une très petite résistance on aura

$$\frac{V_1}{E} = \frac{\alpha_1}{\alpha}.$$

Par suite

$$e^{-\theta} = 1 - \frac{\alpha_1}{\alpha}.$$

Donc la raison cherchée de la progression doit être égale au complément à l'unité du rapport de la déviation de la première émission à travers la résistance étudiée, à celle qui est produite par la charge complète du condensateur dans un circuit sans résistance.

Faisons remarquer immédiatement que la relation précédente, étant vérifiée par l'expérience, permet, lorsque l'on a observé la déviation de la charge ou de la décharge d'un condensateur à travers une résistance nulle, et la déviation à travers une résistance pendant un temps insuffisant pour la charge ou la décharge complète, de déterminer l'une quelconque des trois quantités t, c, R, les deux autres étant connues.

2° Une autre espèce de vérification de la formule se présente à nous. Déterminons le temps nécessaire pour obtenir à travers une résistance donnée une charge tellement voisine de la charge complète qu'une nouvelle émission donne au galvanomètre une déviation inappré-

ciable : 0,1 division par exemple (c'était le cas de nos observations).

On aura, d'après ce qui précède, et en désignant toujours par α la déviation correspondant à la charge sans résistance

$$\frac{V_n - V_{n-1}}{E} = \frac{0{,}1}{\alpha} = e^{-n\theta}(e^{\theta} - 1)$$

ou bien

$$\frac{0{,}1}{\alpha} = e^{-n\theta}\left(\frac{1 - e^{-\theta}}{e^{-\theta}}\right).$$

Or nous avons vu plus haut que

$$1 - e^{-\theta} = \frac{V_1}{E} = \frac{\alpha_1}{\alpha}$$

et que

$$e^{-\theta} = 1 - \frac{\alpha_1}{\alpha}.$$

On aura donc

$$\frac{0{,}1}{\alpha} = e^{-n\theta}\left(\frac{\frac{\alpha_1}{\alpha}}{1 - \frac{\alpha_1}{\alpha}}\right),$$

$$\frac{0{,}1}{\alpha} = e^{-n\theta}\,\frac{\alpha_1}{\alpha - \alpha_1};$$

d'où

$$e^{n\theta} = \frac{\alpha\alpha_1}{0{,}1(\alpha - \alpha_1)}.$$

Donc, si nous appelons T la durée de la charge complète, nous devrons avoir

$$e^{\frac{T}{cR}} = \frac{\alpha\alpha_1}{0{,}1(\alpha - \alpha_1)},$$

expression d'où l'on pourra déduire la durée T de la charge complète, et la comparer avec celle que donne l'expérience.

Nous ferons encore remarquer, comme précédemment, que cette relation étant vérifiée, on pourra, connaissant

les déviations α et α_1, en durée de charge d'un condensateur de capacité donnée à travers une résistance connue.

Nous allons maintenant donner les résultats des observations galvanométriques. Les déviations représentées dans ces colonnes par des nombres marqués d'un * ont été obtenues en supprimant pour l'émission correspondante la résistance qui se trouvait précédemment dans le circuit, et cela afin d'augmenter la sensibilité des indications.

Le tableau suivant (p. 18) montre un accord très grand entre les nombres déduits des observations et ceux que le calcul a donnés soit pour les valeurs des raisons de la progression, soit pour celles des durées de charges. Cet accord, comme on peut le remarquer, se maintient tant qu'on opère sur des résistances et des capacités qui ne sont pas simultanément trop faibles. Lorsqu'il n'en est pas ainsi, on trouve une différence entre les données de l'expérience et celles du calcul, comme on peut le voir dans les dernières lignes du tableau. Nous ne chercherons pas, pour le moment du moins, à expliquer ces écarts, qui peut-être ne sont dus qu'à des erreurs d'observation.

Nous nous contenterons de citer un autre exemple, dans lequel, la capacité et la résistance étant assez grandes, on pourra remarquer un accord très grand entre l'expérience et le calcul.

Dans ce cas, $R = 1$ mégohm environ, et $c = 1$ microfarad. On a sans résistance une déviation de 56×10.

En introduisant la résistance R, et produisant des émissions de durées égales à $0^s,085$ on a les déviations suivantes (page 19) :

	CAPACITÉS en microfarads.	DURÉE d'une émission.	DÉVIATIONS																RAISON $e^{-\theta}$		DURÉE DE CHARGE.	
			SANS RÉSISTANCE — Charge complète.	A TRAVERS UNE RÉSISTANCE.															Déduite des expériences.	Calculée.	Déduite des expériences.	Calculée.
				1re émission.	2e	3e	4e	5e	8e	10e	14e	17e	18e	22e	23e	30	38e	50e				
Résistance $= \frac{1}{10}$ de mégohm.	0,1	0^{s},016	56	38	10	3	1	0*	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	0,2998	0,32	0^{s},072	0^{s},071
	0,2	0^{s},016	112	55	27	13	7	3,5	0,5*	0*	..	..	..	..	..	..	..	..	0,50	0,508	0,136	0,139
	0,3	0^{s},016	168	61	37	23	15	9	2,2	0,5	0*	..	..	..	..	..	..	..	0,627	0,636	0,208	0,206
	0,4	»	224	60	42	29	20	14	5	2,5	0,6	0,4*	0*	..	..	..	..	..	0,70	0,73	0,272	0,268
	0,5	»	280	63	47	35	26	19	7,5	4,5	3	0,5	..	0,5*	0*	..	..	..	0,75	0,77	0,360	0,365
	1	0^{s},034	56 × 10	131	99	73	54	40	16	9	..	1	0,8	1,5*	..	0*	..	..	0,755	0,76	0,96	0,865
	3	0^{s},069	168 × 10	312	250	200	160	128	67	43	..	..	..	..	..	1	0	..	0,803	0,81	2,55	2,48
	5	0^{s},854	280 × 10	363	313	266	225	192	120	87	..	..	..	..	..	4	..	0,2	0,86	0,87	4,27	4,17
Rés. $= \frac{2}{100}$ de még.	0,1	0^{s},016	56	52	ε	0	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	0,07		
	1	»	56 × 10	202	101	50,5	25	12,5	1,5	..	..	..	..	..	..	..	..	..	0,5	0,63		
	2	»	112 × 10	230	164	115	82	58	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	0,71	0,79		
	3	»	168 × 10	240	190	152	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	0,80	0,85		
	4	»	224 × 10	245	208	173,5	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	0,85	0,89		
	5	»	280 × 10	248,5	216	188	163,5	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	0,87	0,91		
	6	»	336 × 10	250	223	201	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	0,90	0,92		
R. $= \frac{1}{100}$ m.	0,1	»	56	52,5	..	0	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	0,06		
	1	»	56 × 10	281	70	17,8	4,5	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	0,25	0,49		
	2	»	112 × 10	234	167	84	42	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	0,5	0,79		
	5	»	280 × 10	370	280	212	162	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	0,76	0,86		

1re émission	36	5e émission	27
2e —	34	6e —	25
3e —	32	7e —	23
4e —	29		

En prenant pour valeur de la raison la moyenne de celle que donnent les 4 rapports des 5 premiers nombres qui précèdent, on trouve

0,9356

La valeur donnée par le calcul est

0,9357

Nous admettrons donc comme suffisamment démontrée, dans les limites des erreurs d'expériences, la formule donnée au commencement de cette étude.

Les décharges ont été étudiées de la même manière; les indications de l'instrument sont les mêmes, et l'on vérifie la même concordance entre les raisons calculées des progressions géométriques et celles que l'on déduit des expériences. Toutefois, aux derniers moments des diverses décharges, on se trouvait en présence de charges résiduelles, qui compliquaient beaucoup les observations. Nous avons laissé de côté ces influences étrangères, car elles sortaient du cadre que nous nous étions tracé.

M. Cailho et F. de Nerville,

Élèves ingénieurs des Télégraphes.

ÉTUDE DES COURANTS DE CHARGE

ET DES COURANTS PERMANENTS

A L'AIDE D'UN GALVANOMÈTRE THOMSON.

Si l'on fait passer à travers un galvanomètre soit un courant de charge, soit un courant permanent, l'aiguille de l'instrument, qui était primitivement au zéro de la graduation, se met à dévier plus ou moins rapidement jusqu'à ce qu'elle ait atteint un certain écart maximum; puis elle revient sur elle-même, décrit ainsi une ou plusieurs oscillations et finit par se maintenir dans une position d'équilibre qui ne varie plus que d'une manière tout à fait insensible. L'amplitude, la durée et le nombre des oscillations varient non seulement suivant l'aimantation, la forme et le moment d'inertie de l'aiguille, mais encore suivant qu'il s'agit d'un courant permanent, de la charge lente ou de la charge instantanée d'un condensateur. On conçoit, par conséquent, que ces trois indications de l'instrument puissent être utilisées soit pour l'étude de l'instrument lui-même, soit pour la mesure de résistances et de capacités inductives intercalées dans le circuit. C'est ce que je me propose de faire dans cet article.

§ 1. — *Équation générale du mouvement de l'aiguille du galvanomètre.*

Dans le cas le plus général du mouvement de l'aiguille, celle-ci est soumise à l'action des forces suivantes qui se font virtuellement équilibre :

1° L'intensité du courant qui traverse les bobines du galvanomètre et qui peut varier avec le temps;

2° La force directrice des masses magnétiques ambiantes, en particulier de l'aimant directeur de l'instrument et du magnétisme terrestre, si le système n'est pas complètement astatique;

3° La torsion du fil de suspension;

4° La résistance opposée au mouvement de l'aiguille soit par l'air ambiant, soit par les courants d'induction que ce mouvement lui-même peut développer;

5° Enfin, la force d'inertie de la suspension.

Les forces précédentes se faisant équilibre, la somme de leurs moments par rapport à l'axe de suspension est nulle. Calculons ces moments.

Si l'on désigne par I l'intensité du courant qui traverse les bobines du galvanomètre, les déviations angulaires de l'aiguille étant toujours très faibles, le moment de la force correspondante à cette intensité pourra se représenter par λI, λ étant une constante dépendante de l'aimantation de l'aiguille et de la sensibilité de l'instrument.

En second lieu, l'aimant directeur et les masses magnétiques ambiantes donnent lieu à un couple proportionnel à leur intensité magnétique et à la déviation angulaire α de l'aiguille. Le couple de torsion du fil de suspension étant aussi proportionnel à α, je désignerai par $T\alpha$ l'ensemble de ces deux couples.

Quant à la résistance due aux courants d'induction développés par l'aiguille même, elle est proportionnelle à l'intensité de ces courants et par suite à la vitesse angulaire $\frac{d\alpha}{dt}$. La résistance de l'air est également proportionnelle à $\frac{d\alpha}{dt}$, comme il est facile de s'en rendre

compte, les déplacements de l'aiguille étant très minimes (*). On pourra donc représenter le couple formé de ces résistances par la formule $2B\frac{d\alpha}{dt}$, B étant une constante.

Enfin, si le moment d'inertie de la suspension est A, le couple d'inertie sera $A\frac{d^2\alpha}{dt^2}$, l'équation du mouvement de l'aiguille sera par conséquent

$$A\frac{d^2\alpha}{dt^2} + 2B\frac{d\alpha}{dt} + T\alpha = \lambda I$$

ou

$$\frac{d^2\alpha}{dt^2} + 2\beta\frac{d\alpha}{dt} + m^2\alpha = \frac{\lambda}{A} I \qquad (1)$$

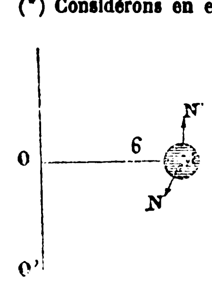
en posant

$$\frac{B}{A} = \beta,$$

$$\frac{T}{A} = m^2.$$

Cette équation ne peut s'intégrer dans le cas général,

(*) Considérons en effet un élément σ de la surface du système en mouvement autour de l'axe de suspension OO'. La pression de l'air sur chacune des faces de cet élément peut se représenter par $k\sigma V^2$, k étant une constante et V désignant la vitesse moyenne avec laquelle les molécules d'air viennent frapper la surface σ. Si celle-ci est animée de la vitesse v dans le sens MN, la pression deviendra $k\sigma(V+v)^2$ sur la face antérieure. Par contre, en arrière de l'élément σ, la pression de l'air ne sera plus que $k\sigma(V-v)^2$. La différence de ces deux pressions, soit $4k\sigma Vv$, représente la résistance opposée par l'air au mouvement. Si $OM = r$, on a : $v = r\frac{d\alpha}{dt}$, et le moment de la résistance de l'air sur l'élément σ est $4k\sigma Vvr = 4kV\frac{d\alpha}{dt}r^2\sigma$. Sur tout le système le moment de la résistance de l'air sera : $4kV\cdot\Sigma\sigma r^2\cdot\frac{d\alpha}{dt}$.



la onction I étant inconnue. Dans chaque cas particulier on aura à calculer I en fonction du temps pour la résoudre. Nous allons passer en revue quelques cas simples relatifs aux courants permanents et aux courants de charge.

§ 2. — *Cas où l'intensité* I *est nulle. — Détermination des coefficients* m *et* β.

Si l'on fait $I = 0$ dans l'équation (1), elle se réduit à

$$\frac{d^2\alpha}{dt^2} + 2\beta\frac{d\alpha}{dt} + m^2\alpha = 0. \tag{2}$$

Je suppose que l'on a : $\beta < m$, ce qui a toujours lieu dans les instruments ordinaires ainsi qu'il est facile de le vérifier par des expériences très simples. On tire de l'équation (2)

$$\alpha = e^{-\beta t}(M\cos\sqrt{m^2-\beta^2}\,t + N\sin\sqrt{m^2-\beta^2}\,t). \tag{3}$$

M et N étant deux constantes dépendant des conditions du problème. Supposons qu'à un certain moment que nous prendrons pour origine des temps on ait $\alpha = \alpha_0$ avec $\frac{d\alpha}{dt} = 0$. On déterminera M et N en écrivant que pour $t = 0$ on a $\alpha = \alpha_0$ et $\frac{d\alpha}{dt} = 0$, ce qui donne

$$\begin{cases} M = \alpha_0, \\ N = \alpha_0\dfrac{\beta}{\sqrt{m^2-\beta^2}}. \end{cases}$$

L'équation (3) devient dans ce cas

$$\alpha = \alpha_0 e^{-\beta t}\left(\cos\sqrt{m^2-\beta^2}\,t + \frac{\beta}{\sqrt{m^2-\beta^2}}\sin\sqrt{m^2-\beta^2}\,t\right). \tag{4}$$

On a en outre

$$\frac{d\alpha}{dt} = -\alpha_0\frac{m^2}{\sqrt{m^2-\beta^2}}e^{-\beta t}\sin\sqrt{m^2-\beta^2}\,t. \tag{5}$$

Ces équations montrent que le mouvement de l'aiguille est oscillatoire, que la durée des oscillations est constante et que leur amplitude va en diminuant en progression géométrique. Il est, d'ailleurs, très facile de connaître la durée et l'amplitude d'une oscillation en fonction des coefficients m et β. La fin d'une oscillation est marquée, en effet, par le moment où la vitesse angulaire $\frac{d\alpha}{dt}$ de l'aiguille change de signe en passant par zéro. Soient t_1, t_2, ... t_n les époques auxquelles se terminent la première, la deuxième, ... la n^{me} oscillations simples. Ces valeurs particulières de t ne seront autre chose que les solutions de

$$\frac{d\alpha}{dt} = 0,$$

ou

$$\sin \sqrt{m^2 - \beta^2}\, t = 0;$$

c'est-à-dire que l'on aura

$$\begin{aligned} \sqrt{m^2 - \beta^2}\, t_1 &= \pi, \\ \sqrt{m^2 - \beta^2}\, t_2 &= 2\pi, \\ \vdots \quad & \quad \vdots \\ \sqrt{m^2 - \beta^2}\, t_n &= n\pi. \end{aligned}$$

Les intervalles t_1, $t_2 - t_1$, $t_3 - t_2$, ... $t_n - t_{n-1}$ sont tous égaux. Autrement dit, la durée θ des oscillations simples est constante et l'on a

$$\theta = \frac{\pi}{\sqrt{m^2 - \beta^2}}.$$

En portant ces valeurs t_1, t_2, ... dans l'équation (4) on aura l'amplitude des oscillations successives. On trouve pour ces amplitudes des valeurs alternativement positives et négatives, ce qui doit être. Au signe près on a

$$\alpha_1 = \alpha_0 e^{-\beta t_1} = \alpha_0 e^{-\beta\theta},$$
$$\alpha_2 = \alpha_0 e^{-\beta t_2} = \alpha_0 e^{-2\beta\theta},$$
$$\vdots \qquad\qquad \vdots$$
$$\alpha_n = \alpha_0 e^{-\beta t_n} = \alpha_0 e^{-n\beta\theta}.$$

La vérification expérimentale de ces formules est des plus simples. J'ai supposé que pour $t = 0$ on a $\alpha = \alpha_0$ et $\frac{d\alpha}{dt} = 0$. On réalisera cette condition par exemple en faisant passer dans le galvanomètre un courant permanent de manière à obtenir une déviation permanente α_0. A un certain moment, qu'on prendra pour origine du temps, on interrompra brusquement le courant soit en mettant le galvanomètre en dehors du circuit, soit en ouvrant celui-ci. Puis on observera à partir de ce moment les oscillations de l'aiguille en marquant la fin de chacune d'elles à l'aide d'un chronomètre à pointage et en notant son amplitude.

On peut encore, au lieu d'opérer de la manière précédente, envoyer un courant de charge dans le galvanomètre. On observera une déviation maximum que l'on prendra pour l'amplitude initiale α_0, et l'on prendra, en ontre, pour origine du temps l'instant précis où l'aiguille atteint l'amplitude α_0. A partir de cet instant on notera les oscillations de l'aiguille comme ci-dessus.

Les formules précédentes peuvent servir à la détermination des constantes m et β de l'instrument. On en déduit en effet

$$\beta = \frac{1}{\theta} L\left(\frac{\alpha_0}{\alpha_1}\right),$$
$$\sqrt{m^2 - \beta^2} = \frac{\pi}{\theta}.$$

La valeur de β étant calculée par la première de ces deux équations, la seconde donnera la valeur de m. On

peut, d'ailleurs, calculer m directement par la formule

$$m = \frac{1}{\theta} \sqrt{\pi^2 + L^2 \left(\frac{\alpha_0}{\alpha_1}\right)},$$

On remarquera en passant que si l'instrument est disposé de telle sorte que $\frac{\alpha_0}{\alpha_1} = 2.718$ on a

$$\beta = \frac{1}{\theta},$$

$$m = \frac{1}{\theta} \sqrt{\pi^2 + 1},$$

ou

$$m = \frac{3,297}{\theta}.$$

La durée des oscillations étant constante, pour avoir θ avec une certaine précision au lieu de prendre la durée de l'une seule d'entre elles, on prendra par exemple la durée totale de 10 ou 15 oscillations successives, et l'on divisera le résultat par 10 ou par 15. Quant au rapport $\left(\frac{\alpha_0}{\alpha_1}\right)$ on l'aura avec d'autant plus de précision que les déviations α_0 et α_1 seront plus considérables. On prendra par conséquent α_0 aussi grand que possible.

Dans une série d'expériences faites sur un des galvanomètres astatiques Thomson qui sont à l'École supérieure de télégraphie, j'ai trouvé les résultats suivants :

Un courant permanent donnant sur l'échelle une déviation α_0 de 297 divisions 1/2 à gauche du zéro, lorsque le circuit était ouvert brusquement, au bout de la première oscillation la déviation maximum de l'aiguille, c'est-à-dire α_1, était de 158°,5 à droite. Le rapport des amplitudes de deux oscillations successives quelconques était d'ailleurs constante et égal au rapport $\frac{297,5}{158,5}$. En outre, la durée d'une oscillation, déduite de l'observa-

tion d'une douzaine d'oscillations successives était de 3^{secondes},85. Comme il était facile d'apprécier les seizièmes de seconde, ce chiffre peut être considéré comme très exact. Les valeurs de β et de m calculées d'après les formules précédentes étaient donc

$$\beta = 0{,}164,$$
$$m = 0{,}832.$$

Si l'on se reporte à la définition des coefficients m et β, on voit que celui-ci peut être considéré comme à peu près fixe pour un instrument donné tandis que m pourra varier beaucoup. L'expérience précédente répétée dans des conditions notablement différentes donna, en effet, pour β une valeur constante, tandis que la valeur de m variait dans des limites considérables. On fait varier m non seulement lorsqu'on vient à changer le fil de suspension, mais encore lorsqu'on rapproche ou qu'on éloigne l'aimant directeur. Plus l'aimant est proche de l'aiguille, plus son action est grande; donc plus T et par suite m sont grands. Inversement plus on éloigne l'aiguille, plus m diminue.

Les variations du coefficient m entraînent celles de la durée θ des oscillations ainsi que du rapport $\frac{\alpha_0}{\alpha_1} = \frac{\alpha_1}{\alpha_2} = \ldots$ La formule

$$\sqrt{m^2 - \beta^2} = \frac{\pi}{\theta}$$

montre que θ varie en sens inverse de m. Si donc on éloigne l'aimant directeur, m diminuant, θ croîtra, et si l'action de l'aimant devient assez faible pour que la différence $m - \beta$ soit très petite, la durée d'une oscillation

$$\theta = \frac{\pi}{\sqrt{m^2 - \beta^2}}$$

deviendra très grande. Suivant les instruments, on pourra ainsi faire varier θ entre une demi-seconde et 8 ou 10 secondes ou même davantage.

Il est à remarquer que lorsqu'on rend les oscillations de l'aiguille plus lentes leurs amplitudes successives vont en décroissant plus rapidement. Plus m sera faible, plus θ sera grand, mais plus le rapport $\frac{\alpha_1}{\alpha_0} = \frac{\alpha_2}{\alpha_1} = \ldots$ sera faible. Ceci fait prévoir que, lorsqu'on fera varier la valeur de m, les oscillations ne s'éteindront ni plus ni moins lentement pour cela, et que leur rapidité d'extinction en quelque sorte dépend non pas de m, mais de β seulement. C'est ce que montre d'une manière plus précise la formule trouvée plus haut

$$\alpha_n = \alpha_0 e^{-\beta t_n},$$

ou simplement

$$\alpha = \alpha_0 e^{-\beta t}.$$

On voit, en effet, qu'au bout du temps t, quelconque pourvu qu'il corresponde à la fin d'une oscillation, le rapport $\frac{\alpha}{\alpha_0}$ est déterminé en fonction de t et de β indépendamment de m. Il résulte de là qu'il est impossible, avec un instrument donné, d'accélérer ou de retarder, à l'aide de l'aimant directeur, l'extinction des oscillations de l'aiguille.

Ainsi β est en quelque sorte un coefficient d'extinction. Plus il est grand, plus les oscillations s'étendront rapidement. Étant donnée sa valeur, il est facile de calculer combien il faut de temps pour que l'amplitude de la déviation de l'aiguille, qui était α_0 au départ, atteigne une fraction $\frac{1}{p}$ de cette amplitude primitive. On n'aura qu'à poser

$$\frac{\alpha}{\alpha_0} = e^{-\beta t} = \frac{1}{p}.$$

On tire de là

$$t = \frac{1}{\beta} \mathrm{L}p.$$

Si l'on prend l'exemple cité plus haut où $\beta = 0{,}164$, et si l'on veut que $\frac{1}{p} = \frac{1}{1000}$, on trouve

$$t = 42^{\text{sec.}} \text{ environ}$$

Pour $\frac{1}{p} = \frac{1}{500}$, on trouverait

$$t = 38^{\text{sec.}}$$

Si la déviation initiale α_0 est de 100 divisions de l'échelle, il suffit, en général, que les oscillations ne soient plus que d'une demi-division de part et d'autre du zéro pour qu'on puisse les considérer comme éteintes. On fera dans ce cas $\frac{1}{p} = \frac{1}{200}$. On trouve alors

$$t = 32^{\text{sec.}}$$

Pour un galvanomètre dans lequel on aurait $\beta = 0{,}66$, si l'on prend $\frac{1}{p} = \frac{1}{1000}$, on trouve que les oscillations seraient éteintes au bout de 11 secondes.

§ 3. — *Cas d'un courant permanent.*

Supposons que l'on envoie dans un galvanomètre, dont l'aiguille est primitivement au repos, le courant produit par une force électromotrice E traversant une résistance totale R. L'intensité du courant sera donnée par la formule $I = \frac{E}{R}$, et par suite l'équation du mouve-

ment oscillatoire de l'aiguille sera

$$\frac{d^2\alpha}{dt^2} + 2\beta\frac{d\alpha}{dt} + m^2\alpha = \frac{\lambda}{A}\cdot\frac{E}{R}.$$

En intégrant cette équation, on en déduit

$$\alpha = e^{-\beta t}(M\cos\sqrt{m^2-\beta^2}\,t + N\sin\sqrt{m^2-\beta^2}\,t) + \frac{\lambda}{Am^2}\cdot\frac{E}{R}.$$

Au moment où l'on envoie le courant, c'est-à-dire pour $t = 0$, on a $\alpha = 0$ et $\frac{d\alpha}{dt} = 0$, ce qui donne

$$M = -\frac{\lambda}{Am^2}\cdot\frac{E}{R},$$

$$N = M\frac{\beta}{\sqrt{m^2-\beta^2}}.$$

Par conséquent, si l'on pose

(6) $$\delta = \frac{\lambda}{Am^2}\cdot\frac{E}{R},$$

on aura

(7) $$\alpha = \delta\left[1 - e^{-\beta t}\left(\cos\sqrt{m^2-\beta^2}\,t + \frac{\beta}{\sqrt{m^2-\beta^2}}\sin\sqrt{m^2-\beta^2}\,t\right)\right]$$

et

(8) $$\frac{d\alpha}{dt} = \delta\cdot\frac{m^2}{\sqrt{m^2-\beta^2}}\,e^{-\beta t}\sin\sqrt{m^2-\beta^2}\,t.$$

Si l'on fait $t = \infty$ dans l'équation (7), celle-ci se réduit à $\alpha = \delta$, c'est-à-dire que δ n'est autre chose que la déviation permanente de l'aiguille sous l'action du courant d'intensité $\frac{E}{R}$.

La durée et l'amplitude des oscillations seront fournies par les solutions de

$$\frac{d\alpha}{dt} = 0$$

ou

$$\sin\sqrt{m^2-\beta^2}\,t = 0.$$

Les solutions de cette équation étant les mêmes que dans le cas d'un courant nul, la durée des oscillations sera constante, ainsi que nous l'avons vu, et égale à

$$\theta = \frac{\pi}{\sqrt{m^2 - \beta^2}};$$

et l'on aura

$$\begin{aligned} t_1 &= \theta, \\ t_2 &= 2\theta \\ &\vdots \\ t_n &= n\theta. \end{aligned}$$

Si l'on remplace t par ces différentes valeurs dans l'équation (7), on trouve

$$(9) \qquad \begin{aligned} \alpha_1 &= \delta(1 + e^{-\beta\theta}), \\ \alpha_2 &= \delta(1 - e^{-2\beta\theta}), \\ \alpha_3 &= \delta(1 + e^{-3\beta\theta}), \\ &\vdots \qquad \vdots \\ \alpha_n &= \delta(1 \pm e^{-n\beta\theta}). \end{aligned}$$

Ces formules montrent que l'aiguille oscille autour de la position δ absolument comme dans le cas d'un courant nul elle oscille autour du zéro. Elles peuvent servir à la détermination des coefficients m et β. Si l'on a déterminé les valeurs de ces coefficients ou même simplement celle de $e^{-\beta\theta}$ comme je l'ai indiqué dans le paragraphe précédent, les résultats trouvés donneront lieu à une vérification des formules ci-dessus.

Ainsi, dans une première expérience, j'ai trouvé en interrompant brusquement le courant

$$\begin{aligned} \alpha_0 &= 297,5, \\ \alpha_1 &= 158,5, \end{aligned}$$

d'où

$$\frac{\alpha_1}{\alpha_0} = e^{-\beta\theta} = \frac{158,5}{297,5}.$$

Ensuite, le galvanomètre étant au repos, j'envoie un courant permanent produit par une pile différente de la

première. J'observe

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= 229, \\ \alpha_2 &= 106, \\ &\vdots \\ \delta &= 149{,}5. \end{aligned}$$

Les valeurs de α_1 et de δ vérifient parfaitement la formule (9). Quant à la valeur observée de α_2, elle diffère d'une unité de la valeur calculée. Pour presque toutes les autres déviations les observations concordent avec les calculs. Il est probable que les légers écarts qui se produisent accidentellement proviennent de lectures incertaines, les erreurs étant faciles à commettre lorsqu'on a à lire un certain nombre de déviations à intervalles de temps très rapprochés et à les retenir de mémoire.

Une des vérifications les plus simples à faire consiste dans le calcul *a priori* de la déviation permanente δ, connaissant α_1 et α_2. On déduit, en effet, des formules précédentes

$$\delta = \frac{\alpha_1^2}{2\alpha_1 - \alpha_2}.$$

La formule (6) indique comment varie la déviation δ pour une même intensité de courant lorsqu'on fait varier m, fait facile à vérifier expérimentalement. La déviation δ sera d'autant plus grande, c'est-à-dire l'instrument d'autant plus sensible que l'on éloignera plus l'aimant directeur. On pourra ainsi faire varier m dans le rapport de 1 à 4 ou 5, et par suite la sensibilité dans le rapport de 1 à 15, 20 et même 25.

Mesure d'une force électromotrice ou d'une résistance par la première impulsion de l'aiguille du galvanomètre. — Je signalerai ici une conséquence de la formule (9) qui peut avoir quelque utilité pour la mesure d'une résistance R ou d'une force électromotrice E par la mé-

thode de substitution. Supposons, par exemple, qu'il s'agisse d'une résistance R très grande, telle que celle d'un diélectrique. Soit δ la déviation permanente que donnerait une pile quelconque à travers R et δ' la déviation que donnerait la même pile à travers un megohm. On a

$$R = \frac{\delta'}{\delta} \text{ megohms.}$$

Au lieu de prendre des déviations permanentes δ et δ', il suffira d'observer les premières impulsions α_1 et α'_1 qui, d'après la formule (9), sont respectivement proportionnelles à δ et à δ'

$$\frac{\alpha'_1}{\alpha_1} = \frac{\delta'(1 + e^{-\beta\theta})}{\delta(1 + e^{-\beta\theta})} = \frac{\delta'}{\delta}.$$

On tire de là

$$R = \frac{\alpha'_1}{\alpha_1} \text{ megohms.}$$

Il en sera de même pour une mesure de force électromotrice et, en général, chaque fois que l'on aura à connaître le rapport de deux intensités de courants permanents. On pourra se borner à la lecture de la première impulsion de l'aiguille, comme dans le cas d'un courant de charge. Cette méthode sera utile lorsqu'on voudra réduire les émissions de courant autant que possible, soit pour ne pas user la pile, soit pour ne pas échauffer les bobines des appareils ou la résistance à mesurer.

§ 4. — *Charge d'un condensateur à travers un circuit de faible résistance.*

Si la résistance du circuit, non comprise celle du condensateur lui-même, est très faible, on peut admettre que la charge est instantanée et se produit tout entière

dès la fermeture du circuit; c'est-à-dire qu'après l'instant infiniment court de la charge, il ne passe plus aucun courant sensible. L'équation du mouvement de l'aiguille sera par conséquent

$$\frac{d^2\alpha}{dt^2} + 2\beta\frac{d\alpha}{dt} + m^2\alpha = 0.$$

En intégrant, on a

$$\alpha = e^{-\beta t}(\mathrm{M}\cos\sqrt{m^2-\beta^2}\,t + \mathrm{N}\sin\sqrt{m^2-\beta^2}\,t).$$

Pour $t = 0$, on a d'ailleurs $\alpha = 0$, ce qui donne

$$\mathrm{M} = 0.$$

En outre, la capacité du condensateur étant égale à C, la charge CE produit au début sur l'aiguille un choc qui lui communique une certaine vitesse initiale. La quantité de mouvement acquise par l'aiguille pendant le choc est équivalente à l'impulsion totale CE qu'elle reçoit. Le moment de l'impulsion CE par rapport à l'axe de la suspension étant égal à λCE, et celui de la quantité de mouvement de l'aiguille étant $\mathrm{A}\frac{d\alpha}{dt}$, on aura, par conséquent, pour $t = 0$

$$\mathrm{A}\frac{d\alpha}{dt} = \lambda\mathrm{CE},$$

ce qui donne

$$\mathrm{N} = \frac{\lambda}{\mathrm{A}\sqrt{m^2-\beta^2}}\cdot\mathrm{CE},$$

Par suite

$$(10)\qquad \alpha = \frac{\lambda}{\mathrm{A}\sqrt{m^2-\beta^2}}\cdot\mathrm{CE}\cdot e^{-\beta t}\sin\sqrt{m^2-\beta^2}\,t$$

et

$$(11)\qquad \frac{d\alpha}{dt} = \frac{\lambda}{\mathrm{A}\sqrt{m^2-\beta^2}}\cdot\mathrm{CE}\cdot e^{-\beta t}\left(\sqrt{m^2-\beta^2}\cos\sqrt{m^2-\beta^2}\,t - \beta\sin\sqrt{m^2-\beta^2}\,t\right).$$

Les temps t_1, t_2, t_3, ... correspondants à la fin des oscillations simples successives seront les solutions de l'équation

$$\frac{d\alpha}{dt}=0$$

ou

$$\frac{\sin\sqrt{m^2-\beta^2}\,t}{\sqrt{m^2-\beta^2}}=\frac{\cos\sqrt{m^2-\beta^2}\,t}{\beta}=\frac{\pm 1}{m}.$$

On aura, par conséquent

$$(12)\qquad \begin{aligned} t_1 &= \frac{1}{\sqrt{m^2-\beta^2}}\arc\cos\frac{\beta}{m},\\ t_2 &= t_1+\frac{\pi}{\sqrt{m^2-\beta^2}}=t_1+\theta,\\ t_3 &= t_1+2\theta,\\ &\vdots\\ t_n &= t_1+(n-1)\theta. \end{aligned}$$

Après la première oscillation, la durée de chacune des autres est constante et egale à θ, ce que l'on pouvait prévoir *a priori* puisqu'il ne passe plus aucun courant à travers le galvanomètre.

Si l'on désigne par θ' la durée de la première oscillation on a

$$\theta'=t_1=\frac{1}{\sqrt{m^2-\beta^2}}\text{arc cos}\frac{\beta}{m},$$

d'où

$$\frac{\theta'}{\theta}=\frac{\text{arc cos}\frac{\beta}{m}}{\pi}.$$

On voit ainsi que θ' est inférieur à la moitié de θ. Cette première impulsion sera donc relativement très rapide. On peut, d'ailleurs, calculer sa durée, connaissant β et m, à l'aide de la formule précédente, et vérifier expérimentalement l'exactitude de cette formule. Quant à l'am-

plitude de la première impulsion elle sera donnée par

$$(13) \qquad \alpha_1 = \frac{\lambda}{Am} \cdot CE \cdot e^{-\beta\theta'}.$$

Mesure de la capacité d'un condensateur sans condensateur étalon. — Si l'on compare les formules (6) et (13) donnant : l'une la déviation permanente δ due à un courant d'intensité constante, l'autre l'impulsion α_1 due à un courant de charge, la force électromotrice E étant la même dans les deux cas, on en tire

$$\frac{\alpha_1}{\delta} = CRme^{-\beta\theta'}.$$

Soit δ_1 la valeur de δ pour $R=1$ megohm ; C étant exprimé en microfarads, on aura

$$\frac{\alpha_1}{\delta_1} = Cme^{-\beta\theta'}$$

d'où

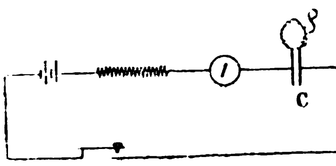
$$(14) \qquad C = \frac{\alpha_1}{\delta_1} \times \frac{e^{\beta\theta'}}{m};$$

$\frac{e^{\beta\theta'}}{m}$ est un facteur constant que l'on calculera connaissant β et m. Il suffira donc d'avoir une résistance étalonnée telle que 1 megohm ou même 100.000 ou 10.000 ohms pour mesurer δ_1 et calculer la valeur de C à l'aide de la formule (14). Inversement si l'on possède un condensateur étalonné on pourra mesurer une résistance quelconque sans la comparer à une résistance connue.

§ 5. — *Charge d'un condensateur à travers une résistance quelconque.*

Supposons que l'on charge un condensateur de capacité C à l'aide d'une pile de force électromotrice E à travers une résistance R, R comprenant les résistances

du galvanomètre et de la pile si elles ne sont pas négligeables. Soit en outre ρ la résistance d'isolement du condensateur.



Le condensateur ne se chargeant pas d'une manière absolument instantanée, désignons par Q sa charge et par V la différence des potentiels de ses deux armatures au bout du temps t. On a

$$Q = CV.$$

D'autre part, le circuit complet se compose de deux parties, l'une extérieure au condensateur comprenant la résistance R, l'autre intérieure comprenant la résistance ρ. La partie extérieure est traversée par un courant d'intensité I telle que

$$I = \frac{E - V}{R}.$$

L'intensité du courant qui traverse la partie intérieure est

$$I' = \frac{V}{\rho}.$$

La quantité d'électricité qui s'accumule sur le condensateur pendant le temps dt est, par conséquent

$$dQ = (I - I')dt = \left[\frac{E}{R} - V\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{\rho}\right)\right] dt.$$

Posons

$$\frac{1}{R} + \frac{1}{\rho} = \frac{1}{S},$$

nous aurons

$$dQ = \left(\frac{E}{R} - \frac{V}{S}\right) dt.$$

D'ailleurs

$$dQ = CdV.$$

on a donc finalement

$$CdV = \left(\frac{E}{R} - \frac{V}{S}\right) dt,$$

d'où en intégrant

$$\frac{E}{R} - \frac{V}{S} = Ke^{-\frac{t}{CS}}.$$

La constante K sera déterminée par la condition que pour $t = 0$ on ait $V = 0$, ce qui donne

$$V = E\frac{S}{R}\left(1 - e^{-\frac{t}{CS}}\right).$$

On peut encore écrire

$$Q = Q_0 \frac{S}{R}\left(1 - e^{-\frac{t}{CS}}\right), \tag{15}$$

Q_0 désignant la charge CE.

L'exactitude de la formule (15) est vérifiée par de nombreuses applications, entre autres celles qui font l'objet du présent article. Elle a été vérifiée, en outre, directement par MM. Cailho et de Nerville au laboratoire de l'École supérieure de Télégraphie dans des expériences nombreuses où le temps t, la résistance R et la capacité C variaient dans des limites assez étendues.

Durée de la charge du condensateur. — Cette formule permet de calculer le temps nécessaire pour que la charge du condensateur soit complète à 1/1000 ou à 1/10000 près par exemple, et, par suite, de se rendre compte des limites dans lesquelles on peut supposer cette charge instantanée. La charge complète, c'est-à-dire la valeur de Q, au bout d'un temps infini étant $Q_0 \frac{S}{R}$, on voit qu'au bout du temps t il en manque encore pour qu'elle soit complète, la fraction $e^{-\frac{t}{CS}}$. Pour que cette

fraction soit de 1/1000 il faut un temps tel que T

$$e^{-\frac{T}{CS}} = \frac{1}{1000}.$$

ou

$$T = CSL\,1000 = 6{,}9CS.$$

A moins que R ne soit comparable à la résistance d'isolement du condensateur, on pourra poser $S = R$. Par suite, on aura

$$T = 6{,}9CR.$$

Si, par exemple $C = 1^{mf}$ et $R = 10000^{ohms}$, on trouve

$$T = 0^{sec.}069,$$

temps qui est tout à fait négligeable pour des expériences ordinaires. Mais si l'on a $C = 5^{mf}$ et $R = 100000^{ohms}$, on trouve

$$T = 3^{sec.}45.$$

Prenons encore $C = 1^{mf}$ et $R = 10$ megohms, on a

$$T = 69^{sec.},$$

c'est-à-dire un temps beaucoup plus grand que la durée de la première oscillation de l'aiguille du galvanomètre sous l'action du courant de charge. La lecture de la première impulsion ne donnera, par conséquent, pas la charge complète du condensateur. Nous allons calculer dans le cas général d'une résistance R et d'une capacité C quelconque, l'amplitude et la durée des oscillations de l'aiguille.

Des formules ci-dessus on déduit pour l'intensité I du courant qui traverse la partie du circuit extérieure au condensateur, et en particulier le galvanomètre.

$$I = \frac{E}{R+\rho} + \frac{E}{R+\rho}\cdot\frac{\rho}{R}e^{-\frac{t}{CS}}.$$

L'équation du mouvement de l'aiguille est, par consé-

quent,

$$\frac{d^2\alpha}{dt^2} + 2\beta\frac{d\alpha}{dt} + m^2\alpha = \frac{\lambda}{A}\cdot\frac{E}{R+\rho}\left(1 + \frac{\rho}{R}e^{-\frac{t}{CS}}\right).$$

Intégrons cette équation en tenant compte de la condition initiale que pour $t = 0$ on a $\alpha = 0$ et $\frac{d\alpha}{dt} = 0$. Il vient

(16) $$\alpha = e^{-\beta t}(M\cos\sqrt{m^2-\beta^2}\,t + N\sin\sqrt{m^2-\beta^2}\,t) + Pe^{-\frac{t}{CS}} + P_1$$

et

(17) $$\frac{d\alpha}{dt} = e^{-\beta t}(M_1\cos\sqrt{m^2-\beta^2}\,t + N_1\sin\sqrt{m^2-\beta^2}\,t) - M_1e^{-\frac{t}{CS}},$$

en posant

$$h = CSm,$$
$$P_1 = \frac{\lambda}{Am^2}\cdot\frac{E}{R+\rho},$$
$$P = P_1\cdot\frac{\rho}{R}\cdot\frac{h^2}{1 + h^2 - 2h\frac{\beta}{m}},$$
$$M = -(P + P_1),$$
$$N = \frac{1}{\sqrt{m^2-\beta^2}}\left[P\left(\frac{m}{h} - \beta\right) - P_1\beta\right],$$
$$M_1 = P\frac{m}{h},$$
$$N_1 = \frac{m}{\sqrt{m^2-\beta^2}}\left[P\left(m - \frac{\beta}{h}\right) + P_1 m\right].$$

La vérification de ces formules, dans le cas général, exigerait des calculs assez longs et offrirait peu d'intérêt. Nous allons seulement en tirer quelques conséquences relatives à la durée et à l'amplitude des oscillations. La fin des oscillations successives sera donnée par les solutions de l'équation

$$\frac{d\alpha}{dt} = 0$$

ou

$$(18) \qquad \frac{N_1}{M_1} \sin \sqrt{m^2 - \beta^2}t + \cos \sqrt{m^2 - \beta^2}t - e^{\left(\beta - \frac{1}{CS}\right)t} = 0.$$

En résolvant cette équation par rapport à t on aura les valeurs t_1, t_2, t_3, ... des racines, qui, mises à la place de t dans (17), donneront les déviations α_1, α_2, α_3,... Si R et C sont assez faibles ou plutôt si leur produit est petit, si par exemple $R = 10,000$ ohms et $C = 1$ microfarad on trouvera très sensiblement les résultats que nous avons obtenus au paragraphe 4 en supposant que la charge a lieu d'une manière instantanée. En particulier on trouvera que la durée des oscillations est constante et égale à $\theta = \frac{\pi}{\sqrt{m^2 - \beta^2}}$, sauf celle de la première, qui est

$$\theta' = \theta \frac{\arccos \frac{\beta}{m}}{\pi}.$$

Lorsque le produit CS va en croissant, les oscillations deviennent inégales, et la durée θ' de la première se rapproche de plus en plus de la valeur θ, qu'elle atteint sensiblement lorsque R devient extrêmement grand. En outre, lorsque R devient très grand, l'amplitude de la première oscillation tend vers la limite suivante dépendante de C

$$\alpha_1 = \frac{\lambda}{Am^2} \cdot \frac{E}{R} \left(1 + e^{-\beta \frac{\pi}{\sqrt{m^2 - \beta^2}}}\right).$$

absolument comme si le condensateur n'existait pas et que l'on eût un courant permanent dû à la force électromotrice E à travers la résistance R. Cette amplitude α_1 reste la même soit lorsqu'on vient à doubler ou à tripler C, soit lorsqu'on supprime complètement le condensateur. Ce fait, très facile à vérifier expérimentalement, s'expli-

que très bien si l'on considère que la grande résistance R ralentissant considérablement la charge du condensateur, pendant la durée relativement très courte de la première oscillation, la différence V des potentiels des deux armatures du condensateur ne croîtra que d'une manière très faible, et, par suite, l'intensité $I = \frac{E - V}{R}$ du courant qui traverse R et le galvanomètre ne variera pas sensiblement pendant le même temps. Le mouvement de l'aiguille sera, par conséquent, sensiblement le même que sous l'action d'un courant permanent d'intensité égale à $\frac{E}{R}$.

Ainsi, lorsque R passe de valeurs très petites à des valeurs très grandes, le courant de charge instantanée se transforme en courant permanent et la durée de la première oscillation passe de la valeur θ' à la valeur θ. Si l'on étudie la question au point de vue du nombre des oscillations, les formules indiquent que ce nombre, d'abord infini lorsque R ne dépasse pas une valeur égale à $\frac{1}{C\beta}$, devient ensuite fini, puis décroît jusqu'à un certain minimum, et enfin croît indéfiniment lorsque R continue à croître lui-même.

1° *Cas où* $R < \frac{1}{C\beta}$. — Supposons, en effet, que R soit d'abord très petit, S sera également très petit; par suite, dans l'équation (18), au bout d'un instant extrêmement court, le terme $e^{\left(\beta - \frac{1}{CS}\right)t}$ sera absolument négligeable, de telle sorte que l'équation se réduira à

$$\frac{N_1}{M_1} \sin \sqrt{m^2 - \beta^2}\, t + \cos \sqrt{m^2 - \beta^2}\, t = 0.$$

Il en résulte que les oscillations seront en nombre infini et seront isochrones à part la première.

Lorsque R augmente, le terme $e^{\left(\beta - \frac{1}{CS}\right)t}$ devient de moins en moins négligeable. On pourra alors constater des inégalités dans la durée des premières oscillations, qui va en augmentant légèrement de l'une à l'autre. Leur nombre sera, d'ailleurs, encore infini tant que l'exposant $\left(\beta - \frac{1}{SC}\right)t$ sera négatif, c'est-à-dire tant que l'on aura

$$CS < \frac{1}{\beta}$$

ou

$$R < \frac{\rho}{C\rho\beta - 1}$$

Si l'on a un condensateur dont la résistance ρ d'isolement est très grande, on peut négliger 1 par rapport à $C\rho\beta$. L'inégalité précédente devient alors

$$R < \frac{1}{C\beta}.$$

2° *Cas où* $R = \frac{1}{C\beta}$. — A la limite, lorsque R atteint la valeur $\frac{1}{C\beta}$, l'équation (18) devient

$$\frac{N_1}{M_1} \sin \sqrt{m^2 - \beta^2}\,t + \cos \sqrt{m^2 - \beta^2}\,t - 1 = 0,$$

ce que l'on peut écrire

$$\sin \frac{\sqrt{m^2 - \beta^2}\,t}{2} \left(\frac{\sqrt{m^2 - \beta^2}}{\beta} \cos \frac{\sqrt{m^2 - \beta^2}\,t}{2} - \sin \frac{\sqrt{m^2 - \beta^2}\,t}{2} \right) = 0.$$

On tire de là soit

$$t = \frac{2k\pi}{\sqrt{m^2 - \beta^2}} = 2k\theta,$$

soit

$$t = 2\theta' + 2k'\theta,$$

θ et θ' désignant toujours les mêmes valeurs que précédemment et ne dépendant que de l'instrument. Les solutions successives t_1, t_2,... seront donc

$$t_1 = 2\theta',$$
$$t_2 = 2\theta,$$
$$t_3 = 2\theta + 2\theta',$$
$$t_4 = 4\theta,$$
$$\vdots$$
$$t_{2n+1} = 2n\theta + 2\theta',$$
$$t_{2n+2} = (2n+2)\theta,$$

et les durées des oscillations simples seront alternativement

$$t_1 = 2\theta',$$
$$t_2 - t_1 = 2\theta - 2\theta',$$
$$t_3 - t_2 = 2\theta',$$
$$t_4 - t_3 = 2\theta - 2\theta'.$$
$$\vdots$$

La différence entre la durée des oscillations paires et celle des oscillations impaires est $2\theta - 4\theta'$. Si, par exemple les coefficients β et m de l'instrument sont

$$\beta = \frac{1}{6},$$

$$m = \frac{4}{5},$$

on aura

$$2\theta - 4\theta' = 1^{\text{sec}}.07 \text{ environ}.$$

3° *Cas où* $R > \frac{1}{C\beta}$. — Si R est plus grand que $\frac{1}{C\beta}$, l'exposant $\left(\beta - \frac{1}{CS}\right)$ devient positif et lorsque t croît indéfiniment, le terme $e^{\left(\beta - \frac{1}{CS}\right)t}$ dans l'équation (18) croissant au delà de toute limite, tandis que les deux autres termes restent finis, l'équation ne saurait admettre une infinité de solutions; c'est-à-dire que le nombre des oscil-

lations est fini. Posons

$$f(t) = \frac{N_1}{M_1} \sin \sqrt{m^2 - \beta^2}t + \cos \sqrt{m^2 - \beta^2}t.$$

L'équation (18) s'écrira alors

$$f(t) = e^{\left(\beta - \frac{1}{CS}\right)t}$$

La fonction $f(t)$ ne peut dépasser un maximum égal à $\sqrt{1 + \frac{N_1^2}{M_1^2}}$; d'autre part, à partir du temps T tel que

$$e^{\left(\beta - \frac{1}{CS}\right)T} = \sqrt{1 + \frac{N_1^2}{M_1^2}},$$

ou

(19) $$T = \frac{L\left(1 + \frac{N_1^2}{M_1^2}\right)}{2\left(\beta - \frac{1}{CS}\right)},$$

la fonction $e^{\left(\beta - \frac{1}{CS}\right)t}$ reste plus grande que le maximum en question. Il en résulte qu'à partir du temps T il n'y aura plus d'oscillations. On verra la déviation de l'aiguille décroître plus ou moins lentement pour tendre vers une certaine position limite égale à

$$\delta = \frac{\lambda}{Am^2} \cdot \frac{E}{R + \rho}.$$

Il est facile, d'ailleurs, de calculer le nombre total des oscillations simples de l'aiguille. En discutant l'équation (18), on trouve que la valeur de T étant calculée d'après la formule (19), si l'on pose

$$\frac{\sqrt{m^2 - \beta^2} \cdot T}{2\pi} = n + f$$

ou

(20) $$\frac{T}{2\theta} = n + f,$$

n désignant le plus grand nombre entier contenu dans $\frac{T}{2\theta}$ et f la fraction complémentaire, le nombre des oscilla-

tions simples sera $2n$ ou $2(n+1)$ suivant que f sera plus petit ou plus grand que $\frac{u}{2\pi}$, u étant un angle voisin de $\frac{\pi}{2}$ défini par l'équation

$$\operatorname{tg} u = \frac{N_1}{M_1}.$$

Si R est très grand, on peut écrire

$$T = \frac{L \cdot CRm}{\beta - \frac{1}{CR}}$$

et

$$\operatorname{tg} u = CRm,$$

Si, par exemple, $C = 1^{mf}$ et $R = 132$ meghoms, avec les valeurs $\beta = \frac{1}{6}$, $m = \frac{4}{5}$, on trouve environ

$$\frac{T}{2\theta} = 3,8.$$

Par suite, les oscillations doivent être au nombre de 8.

En outre, la durée des oscillations impaires va en décroissant, tandis que celle des oscillations paires qui tendent à ramener l'aiguille vers le zéro va en croissant jusqu'à la dernière. J'ai vérifié par des expériences variées l'exactitude de la formule (20), qui ne présente, d'ailleurs, qu'un intérêt purement théorique.

— L'étude du courant de décharge d'un condensateur conduirait à des conclusions tout à fait semblables aux précédentes.

§ 6. — *Comparaison des indications galvanométriques aux indications téléphoniques relativement aux courants de charge et aux courants permanents.*

En observant à l'aide du téléphone l'influence d'une résistance intercalée dans un circuit de charge ou de décharge, on arrive à des résultats beaucoup plus frap-

pants quoique moins précis et moins susceptibles de mesure qu'avec le galvanomètre. Si l'on charge un même condensateur avec la même pile à travers des résistances différentes, on percevra au téléphone des sons d'intensités très différentes. Le maximum d'intensité se produira lorsque la résistance intercalée sera réduite à sa valeur minimum, savoir la résistance de la pile et celle de l'instrument. Puis lorsque la résistance augmente, l'intensité du son diminue peu à peu, en même temps que le son paraît se prolonger un peu. Mais ce phénomène de prolongement est beaucoup moins net que celui de la diminution d'intensité. Enfin, suivant la force de la pile, la capacité du condensateur et la sensibilité de l'instrument, le son s'éteindra lorsque la résistance atteindra 100.000 ohms ou 1.000.000.

Les mêmes phénomènes se produisent à la décharge, lorsqu'on fait varier la résistance du circuit. Si, par exemple, on charge et on décharge alternativement un condensateur, les résistances étant égales dans les circuits de charge et de décharge, les intensités des sons produits seront à peu près égales. Si l'on augmente la résistance dans l'un des circuits, on diminuera en conséquence l'intensité du son dans ce circuit sans rien changer à l'autre.

Ainsi le condensateur se chargeant à travers une résistance de 10.000, de 100.000 ohms par exemple, la charge ne donnera aucun son. La décharge en court circuit produira au contraire un son très net. Si la résistance intercalée dans le circuit de charge est celle d'un diélectrique, par exemple 100, 1.000, 10.000 megohms ou même davantage, la charge que prendra le condensateur sera proportionnelle à la durée de l'émission du courant : 1 seconde, 10 secondes; 1 minute, etc. Elle

ne produira, d'ailleurs, aucun son, mais si l'on décharge ensuite le condensateur en court circuit, on aura un son d'intensité d'autant plus grande que la durée de l'émission aura été plus grande elle-même. On peut, par ce procédé, rendre perceptibles des courants permanents ou des courants trop faibles pour être observés directement, tels que la perte par les appareils dans une expérience de mesures électriques ou le courant de perte à travers une longueur extrêmement courte de câble souterrain.

L'intensité du son produit par la charge ou la décharge d'un condensateur dépend non seulement de la quantité totale d'électricité accumulée et de la résistance du circuit; elle dépend encore de la capacité du condensateur. Plus la capacité est grande, plus le son est faible. D'une manière générale, *à charge égale*, l'intensité du son est d'autant plus faible que le produit CR de la capacité par la résistance est plus grand.

Les expériences précédentes peuvent se répéter avec des appareils télégraphiques, tels qu'un récepteur Morse. On constate que l'effet produit par le passage d'un courant ne dépend pas uniquement de la quantité totale d'électricité qui passe : il varie avec la résistance du circuit et la capacité du condensateur, absolument comme dans le cas du téléphone. On peut ainsi amplifier l'effet d'un courant par l'emploi d'un condensateur. En supposant que les phénomènes de condensation qui se produisent sur une ligne télégraphique ne soient pas trop énergiques, si la résistance de la ligne est telle que l'émission d'un courant permanent ne puisse faire déclencher la palette de l'électro-aimant, en recueillant le courant dans un condensateur et en déchargeant celui-ci, on pourra avoir un effet appréciable.

VASCHY.

APPLICATION

DE LA RADIOPHONIE A LA TÉLÉGRAPHIE.

TÉLÉRADIOPHONE ÉLECTRIQUE MULTIPLE-INVERSE.

NOTE DE M. E. MERCADIER (*).

(Extrait.)

J'appelle téléradiophone un système de télégraphie électrique où les signaux sont produits par des effets radiophoniques. En outre, le système permet de transmettre sur un conducteur quelconque plusieurs signaux simultanés à volonté dans un sens ou en sens inverse, d'où la qualification abréviative de multiple inverse.....

La figure (page 51) représente deux stations extrêmes (A et A′) séparées par une longue ligne télégraphique quelconque F, et dans lesquelles sont figurés seulement deux appareils de transmission et de réception susceptibles de fonctionner dans n'importe quel sens et tout à fait indépendamment l'un de l'autre. On n'en a représenté que deux pour simplifier le dessin; mais il est facile de voir qu'on en pourrait disposer un nombre quelconque. On suppose que l'on veut produire des signaux télégraphiques ordinaires.

Le courant continu provenant de la pile P traverse successivement : dans la station A des récepteurs radio-

(*) *Comptes rendus de l'Académie des sciences* (séance du 3 octobre 1881).

phoniques à sélénium et des téléphones R_1, T_1, R_2, T_2..., puis la ligne F; puis, dans la station A', les radiophones et les téléphones R'_1, T'_1, R'_2, T'_2..., correspondant à ceux de A.

En face de chaque récepteur, tels que R_1, se trouvent : les ouvertures d'une roue I_1, en verre ou en mica, tournant continuellement et aussi régulièrement que possible autour d'un axe a_1, sous l'action d'un moteur quelconque; un diaphragme o_1 de la grandeur des ouvertures, fixé à une tige rigide formant le prolongement du levier d'un manipulateur Morse M_1, et qui, à l'état de repos, ferme les ouvertures, empêche le passage des radiations émises par une source quelconque S.

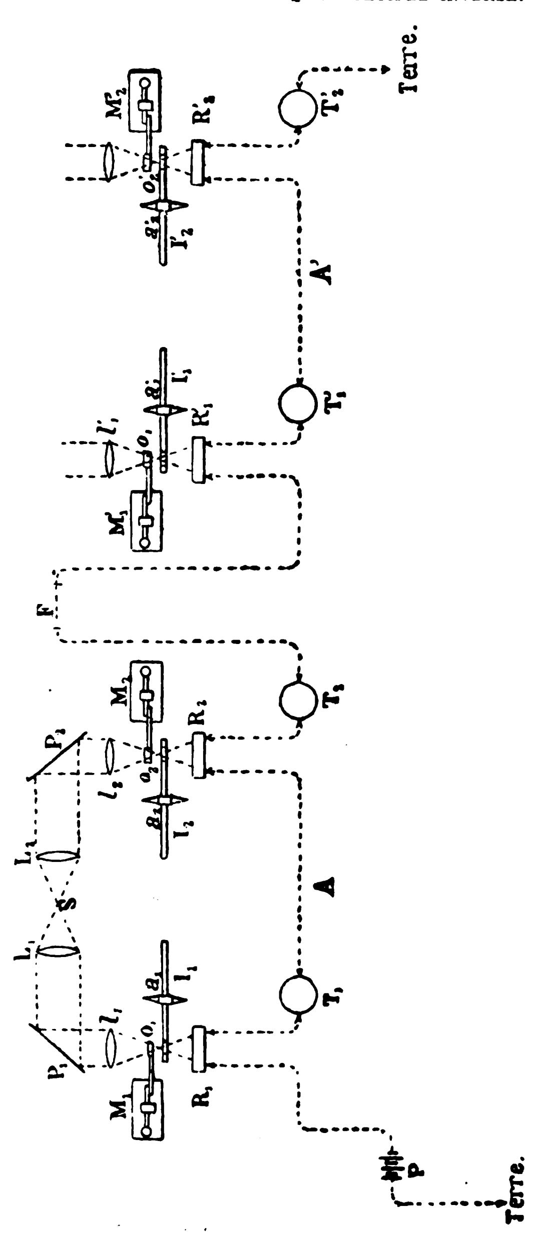
On voit qu'il suffit d'abaisser le levier de M_1 pour que les radiations traversant la roue et agissant sur le radiophone R_1 produisent des variations correspondantes dans la résistance de ce récepteur, et par suite dans l'intensité du courant continu qui le traverse: d'où la production dans tous les téléphones T_1, T_2, T'_1, T'_2..., échelonnés le long du circuit d'un son musical, dont le nombre de vibrations par seconde est égal au nombre des ouvertures de la roue I_1, qui passent en une seconde en face du récepteur.

Supposons, pour fixer les idées, que ce soit un *ut*.

En abaissant et relevant M_1 suivant le rythme des signaux Morse, on entend dans les téléphones le son *ut* pendant un temps plus ou moins long, et l'on a reproduit ainsi acoustiquement les signaux Morse.

Rien n'est plus facile que de lire rapidement une pareille transmission. L'expérience prouve, d'ailleurs, qu'on peut opérer la manipulation avec la même vitesse que dans le cas de la télégraphie ordinaire.

Pendant qu'un opérateur manipule et envoie des si-


Terre.
Terre.
P
F
A
A'

gnaux en M_1, un autre peut en recevoir en mettant l'oreille au téléphone T_1 ainsi qu'on va le voir.

Le second appareil de la station A est constitué de la même manière, avec des organes de transmission et de réception identiques. La seule différence est que la roue I_2 produit un son différent, ce qu'on obtient, soit en la rendant complètement solidaire de I_1, en la faisant tourner avec la même vitesse et lui donnant un nombre d'ouvertures différent, soit en lui donnant le même nombre d'ouvertures et la faisant tourner avec une vitesse différente, ce qui peut s'obtenir de plusieurs manières, même en employant un *seul moteur* pour toutes les roues, par exemple à l'aide de cordons et de poulies de diamètres différents fixés aux axes.

Supposons que I_2 produise le son *mi*.

On voit que, si l'on fait mouvoir indépendamment l'un de l'autre les deux manipulateurs M_1 et M_2, on pourra entendre simultanément, mais *sans confusion*, dans tous les téléphones, des signaux Morse effectués les uns à la hauteur de l'*ut*, les autres à la hauteur du *mi* : il ne sera pas possible de les confondre.

Les deux appareils représentés dans la station A' sont établis de la même façon; seulement les choses sont disposées de manière que les roues I'_1, I'_2,... produisent des sons différents, par exemple *sol*, *si*,....

Enfin, on fait correspondre ensemble les appareils affectés des mêmes indices 1, 2.

Cela étant, supposons le cas le plus complexe où les quatre appareils fonctionnent à la fois indépendamment les uns des autres. Il n'y aura aucune confusion des quatre systèmes de signaux, qui seront simultanément reçus dans tous les téléphones. Chacune des personnes qui les entendra devra seulement écouter : celle qui est

au téléphone T_1, les signaux faits à la hauteur du *sol* et provenant de M'_1 ; celle qui est en T_2, les signaux à la hauteur de *si* et provenant de M'_2 ; celle qui est en T'_1, les signaux à la hauteur de l'*ut* et provenant de M'_1 ; celle qui est en T'_2, les signaux à la hauteur du *mi* et provenant de M_2 ;....

L'expérience prouve qu'au bout de peu de temps il est facile de suivre ainsi une transmission de cette nature, abstraction faite des autres. Mais, en tout cas, on peut : soit faire des téléphones ne reproduisant bien qu'un son de hauteur déterminée, soit adapter à des téléphones ordinaires des résonateurs ne renforçant qu'un seul des sons transmis.

. . . .

Il est à remarquer que le système décrit s'applique parfaitement aux lignes de grande longueur, car on peut se servir, par exemple, de récepteurs radiophoniques à sélénium de grande résistance (de 30.000 à 100.000 unités) qui fonctionnent très bien avec un petit nombre d'éléments de pile (de 2^{el} à 10^{el} Leclanché.

Dès lors, la résistance des lignes, quand même elles auraient 1.000^{km} de longueur, est très petite, ainsi que celle des téléphones, par rapport à celle du récepteur ou des récepteurs, qu'on peut d'ailleurs disposer en série ou en surface.

Les essais pratiques de ce système ont déjà donné de bons résultats.

RAPPEL-SONNERIE ÉLECTRIQUE SANS AIMANT

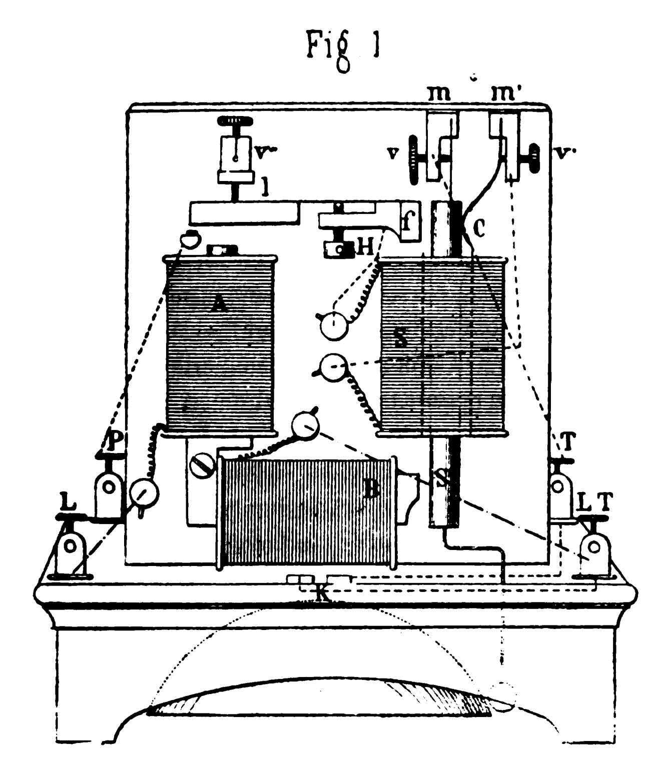
ET PAR INVERSION DE COURANT.

DE MM. GRASSI ET BEUX.

Cet appareil est destiné à remplacer le rappel à armature aimantée dont on se sert habituellement pour le rappel des bureaux secondaires intercalés, deux à deux, sur un même fil conducteur. Bien que fonctionnant par inversion de courant, il ne comporte pas d'aimant et se trouve dans les conditions ordinaires des sonneries à armature en fer doux, ; il n'est donc pas exposé à la désaimantation des aiguilles ou des aimants, et présente à ce point de vue, plus de sécurité que les appareils ordinairement employés dans le même but.

Il se compose d'un électro-aimant de ligne AB (*fig.* 1), disposé en forme d'équerre, devant les pôles duquel se meuvent deux armatures distinctes : l'une, S', est disposée absolument comme un levier de sonnerie, avec son ressort de contact platiné C et son marteau placé en face d'un timbre fixé dans le socle de l'appareil. Seulement, elle est entourée d'une bobine fixe S, dans le manchon ovale de laquelle elle se meut librement, et qui est destinée à polariser son extrémité par le passage du courant local. L'autre armature, I, ne diffère pas d'une armature ordinaire, et son extrémité se meut entre deux

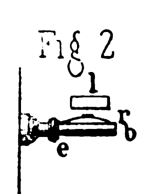
butoirs, dont l'un est relié en P à la pile qui sert pour les transmissions du poste. Pendant son mouvement, le courant local passe à travers la bobine de l'armature S', et



la polarise d'une certaine manière. Il résulte de cette disposition que lorsqu'un courant de ligne de sens quelconque fait marcher la seconde armature, la pile locale polarise l'autre, toujours de la même manière, mais celle-ci ne se meut que lorsque le courant de ligne développe dans l'électro-aimant AB, et en face d'elle, un pôle contraire à celui qu'elle possède ; en ce cas, le marteau frappe le timbre et l'appareil fonctionne comme une son-

nerie à trembleur. Dans le cas contraire, l'armature S' polarisée est repoussée, et l'autre fonctionne seule (sans bruit, si l'on serre à fond la vis V").

Réglage. — Au moment de la pose, on donne à l'appareil son réglage définitif. Si les courants qui traversent la ligne sont d'intensités différentes, on règle le levier I, au moyen des vis H et V" sur le courant le plus fort, mais sans trop tendre le ressort ; puis, pour assurer le contact avec les courants faibles, on amène le ressort *r* (*fig.* 2), adapté au second butoir, à une très faible distance du levier I, en faisant glisser l'anneau curseur *e*. On règle ensuite le levier de sonnerie en agissant sur les vis V et V', comme s'il s'agissait d'une sonnerie à trembleur ; le ressort de contact C doit à peine appuyer sur la tige S'; c'est la vis V seule qui détermine l'écartement de la tige vis à vis du noyau B de l'électro-aimant de ligne. La tige qui porte le marteau doit être coudée de façon que le choc de celui-ci sur le timbre empêche l'armature S' de rester collée sur le noyau de la bobine B.



Cet appareil, mis à l'essai en 1878, à la gare de Moirans (Isère), et en 1880, à Neuville-sur-Saône (Rhône), a fonctionné très régulièrement. Il figurait à l'exposition universelle d'électricité de 1881.

GRANDE MACHINE D'INDUCTION

DE M. W. SPOTTISWOODE.

A l'occasion de la grande machine d'induction qui figurait dans la section anglaise de l'exposition universelle d'électricité de 1881, la plus puissante de celles qui aient été conduites jusqu'à ce jour, M. A. Spottiswoode a écrit la lettre suivante aux éditeurs du *Philosophical Magazine* :

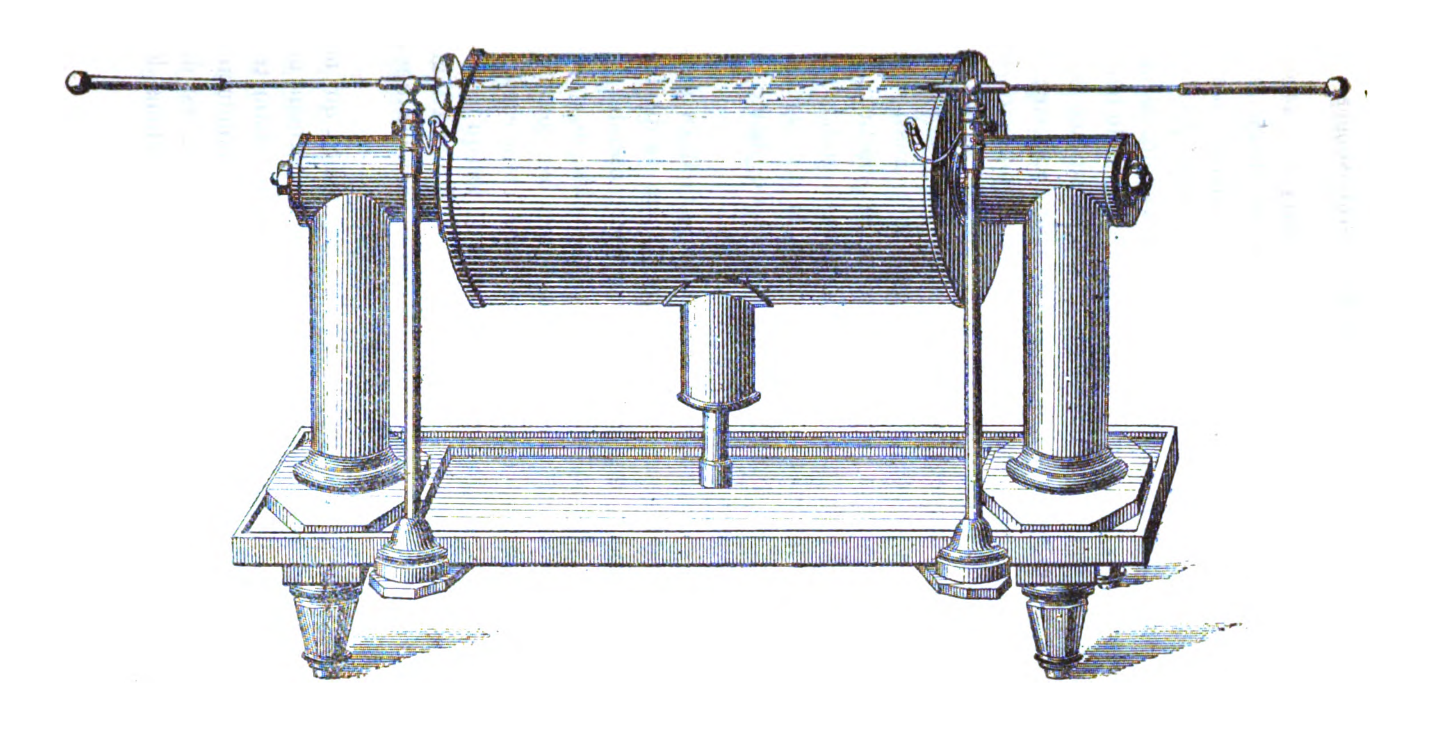
Bien que les résultats des expériences auxquelles je me suis livré ne soient pas encore suffisamment complets pour en faire l'objet d'une communication à votre journal, je crois cependant que la construction d'une bobine d'induction capable de donner une étincelle de $1^m,10$ de longueur, est un fait qui mérite d'être rapporté. — Je viens donc vous donner quelques détails sur cette bobine construite dernièrement pour mon compte par M. Apps, 433, Strand, à l'habileté et à la persévérance duquel le succès de l'entreprise est dû.

L'apparence générale de l'instrument est représentée par la figure (page 59). La bobine est supportée par deux piliers massifs en bois, renfermés dans une gaine de gutta-percha dont l'intérieur est rempli à l'extrémité supérieure de cire de parafine. Outre les deux piliers principaux, un troisième pilier pouvant s'allonger verticalement au moyen d'une vis est placé au centre pour soutenir le poids de la bobine. Le tout est porté sur un plateau monté sur des roulettes.

La bobine est munie de deux hélices primaires qu'on peut employer indifféremment et dont l'une peut être remplacée par l'autre en quelques minutes par deux hommes.

On se sert de l'une pour produire de longues étincelles et, en général, pour effectuer la plupart des expériences; son noyau est composé d'un faisceau de fils de fer de $0^{mm},812$ d'épaisseur, formant ensemble un cylindre solide de $1^{mm},117$ de longueur et de 88 millimètres de diamètre; son poids est de 30 kilos. Le fil de cuivre de cette hélice est de 600 mètres de long, son diamètre est de $2^{mm},43$, sa conductibilité est de 93 p. 100, et il offre une résistance totale de 2,3 ohms. Son hélice contient 1.344 tours du fil, enroulés en six couches séparées; sa longueur est de $1^{m},06$ avec un diamètre de 95 millimètres à l'extérieur et de 120 millimètres; le poids total est de 25 kilos.

L'autre hélice primaire est spécialement destinée à servir avec les piles de grande surface, c'est-à-dire pour la production d'étincelles courtes et épaisses ou pour des expériences spectroscopiques. Son noyau est composé de fils de fer de $0^{mm},812$ de diamètre formant un cylindre solide de 96 millimètres sur $1^{m},117$ de long, le poids de ce noyau est de 41 kilos. Le fil de cuivre est semblable à celui de l'hélice que nous avons déjà décrite, mais il a 493 mètres de long et il est enroulé en toron de deux fils, formant trois paires de couches dont la résistance est de 0.81, .211 et .231 ohms, respectivement. La longueur de cette hélice est de $1^{m},066$, son diamètre extérieur est de 138 millimètres et son diamètre intérieur est de 101 millimètres. Son poids total est de 38 kilos. Un arrangement nouveau permet d'employer les couches de fil de cette hélice soit en sé-



ries, comme un fil de $4^{mm},82$ de diamètre, soit accouplés par trois, comme un fil de $14^{mm},61$ de diamètre. Il faut toutefois ajouter que, étant donnée la force énorme de courant que peut supporter cette bobine, et que l'hélice secondaire pourrait être surchargée au point de faire fondre le fil, il vaut mieux employer cette grande hélice primaire avec des condensateurs de grande surface pour les analyses spectrales, et pour les expériences avec les tubes de Geissler dans lesquels on veut produire un grand volume de lumière de haute intensité et de longue durée à une seule décharge. — Les décharges alternées et les étincelles flamboyantes sont aussi plus faciles à obtenir au moyen de cette hélice primaire. On l'a employé pour produire les étincelles de grande tension de 860 millimètres de long en l'air, la pile étant de 10 éléments de Grove avec des plaques de platine de 158 millimètres sur 76 millimètres.

Cette hélice primaire offre de grandes facilités pour l'emploi de différentes sortes de piles par sa division en trois circuits, que l'on peut employer ensemble ou séparément. Par un arrangement convenable de commutateurs automatiques, on peut forcer les courants primaires à suivre un certain ordre quant à leur espacement, durée et force, avec des effets qui, lorsqu'ils seront observés dans le miroir tournant, conduiront à d'importants résultats dans l'étude des stries dans les tubes de Geissler.

Nous arrivons maintenant à l'hélice secondaire, qui ne contient pas moins de 450 kilomètres de fil, formant un cylindre de $0^{m},95$ de longueur, $0^{m},507$ de diamètre extérieur, et $0^{m},24$ de diamètre intérieur. Sa conductibilité est de 94 p. 100, et sa résistance totale est de 110.200 ohms. Le tout est enroulé en quatre sections; le

diamètre du fil employé pour les deux sections du milieu est de 2^{mm},4, et celui des deux sections extérieures est de 0^{mm},28 et 0^{mm},279 respectivement. — L'objet de l'augmentation de l'épaisseur, vers les extrémités de la bobine, est de pourvoir à l'accumulation de la charge que cette portion du fil est appelée à supporter. — Chacune de ces sections est enroulée en disques plats ; le nombre de couches, dans chaque disque, est d'environ 200, variant cependant avec les différentes dimensions du fil. Le nombre total de tours de l'hélice secondaire est de 341.850.

Il est facile de se rendre compte de l'immense longueur de fil nécessaire par le fait que, près du diamètre extérieur de la bobine, un seul tour excède 1^{m},52 de long. On croit que l'étincelle est due au grand nombre de tours du fil plutôt qu'à sa longueur, un bon isolement étant toujours nécessaire. Afin d'assurer le succès, les couches furent essayées séparément et par groupes, et les résultats notés. De cette manière, on espérait obtenir pas à pas un progrès certain. Comme épreuve extraordinaire, on a employé jusqu'à 70 éléments de Grove, sans aucune détérioration de l'isolement.

On s'est aperçu que le condensateur nécessaire pour cette bobine est beaucoup plus petit qu'on ne l'avait d'abord supposé. Après une suite d'expériences, il a paru que la dimension la plus convenable était celle employée généralement par le fabricant pour une bobine donnant une étincelle de 254 millimètres, c'est-à-dire 126 feuilles de papier d'étain de 457 × 209 millimètres de surface, séparées par deux épaisseurs de papier verni, la double épaisseur étant de 2^{mm},7. Le tout contient 252 feuilles de papier ayant 482 × 228 millimètres de

surface. J'espère avoir l'occasion de faire des expériences avec d'autres condensateurs.

En employant la plus petite hélice primaire, cette bobine a donné avec 5 éléments de Grove d'un litre de capacité une étincelle de 711 millimètres, avec 10 éléments semblables une de 888 millimètres et avec 30 des mêmes éléments une de 551 miliimètres, et enfin une de 1.066 millimètres. Comme ces étincelles furent obtenues sans difficulté, il me paraît probable que si l'isolement des extrémités de l'hélice secondaire était plus grand qu'à présent, on pourrait obtenir une étincelle encore plus longue. Une telle expérience demanderait des dispositions spéciales, une étincelle de 1.066 millimètres dépassant déjà la longueur de l'hélice secondaire. Quand les pointes de décharge se trouvent à environ 25 millimètres de distance, on obtient une décharge continue aussi bien en fermant qu'en rompant le circuit primaire. Le bruit qui accompagne cette décharge indique qu'elle est intermittente, mais les intervalles n'ont pas encore été déterminés. Une étincelle de 711 milimètres, produite par 5 éléments d'un litre, a plusieurs fois percé un bloc de cristal de roche de 76 millimètres d'épaisseur, d'autres fois un bloc semblable fut non seulement percé, mais brisé. D'après ce résultat, on peut supposer qu'une étincelle de 1.066 millimètres, pourrait percer un bloc de 152 millimètres d'épaisseur.

Employé pour les tubes de Geissler cette bobine donne un éclairage d'un très brillant éclat et d'une très longue durée. Avec 20 à 30 éléments et un interrupteur fonctionnant très lentement, donnant par exemple 80 étincelles par minute, les stries durent assez longtemps pour que leurs mouvements en avant et en arrière

soient aperçus directement à l'œil nu. L'apparence des stries observées dans le miroir tournant était excessivement marqué, et ceci même quand 2 ou 3 éléments seulement étaient employés.

D'autres expériences ont montré que ce n'est que par l'emploi de bobines aussi grosses que l'on peut obtenir les effets nouvellement découverts de température-combustion ou de volatilisation. En excitant le circuit primaire de la bobine avec une machine dynamo-électrique ou avec une pile assez forte et en se servant d'une grosse bouteille de Leyde dans le circuit secondaire (d'après l'expérience de Sir W. Grove), la décharge électrique passant entre des électrodes placées devant l'ouverture du spectroscope, les stries et bandes avancent ou reculent, suivant les variations apportées aux décharges excitantes.

Comme on peut considérer que la pression atmosphérique reste constante, ces efforts sont probablement dus aux différences de température provenant du plus ou moins d'importance des effets électriques sur les électrodes dans un temps donné.

Il reste à déterminer jusqu'à quel point la disparition de certaines stries et bandes dans le spectrum et l'apparition de certaines autres peuvent modifier nos conclusions concernant la constitution du soleil et celle des autres corps éclairants, si éloignés que nous ne pouvons déterminer la température à laquelle existent leurs vapeurs et leurs flammes. Il reste également à fixer jusqu'à quel point la lumière est affectée par le milieu qu'elle traverse pour arriver jusqu'à nous.

PROJET DE CRÉATION

D'UN

LABORATOIRE CENTRAL D'ÉLECTRICITÉ

A PARIS.

M. le ministre des Postes et des Télégraphes a adressé le 23 février dernier, à M. le Président de la République le rapport suivant, dans lequel, après avoir rappelé le succès obtenu par l'Exposition d'électricité et constaté les résultats obtenus au point de vue financier, il propose d'affecter à la création, à Paris, d'un laboratoire central d'électricité, la somme de 325.000 francs qui représente au minimum l'excédant des recettes réalisées sur l'ensemble des dépenses.

Monsieur le Président,

Par décret en date du 23 octobre 1880, vous avez bien voulu autoriser l'ouverture à Paris, pour le 1er août 1881, d'une Exposition internationale d'électricité et la réunion simultanée d'un Congrès international d'électriciens.

En l'absence des Chambres, nous ne pouvions engager l'État dans des dépenses pour lesquelles des crédits n'avaient pas été ouverts; d'une part, le délai dont nous disposions avant le 1er août était à peine suffisant et ne nous permettait pas d'attendre la réunion du Parlement pour engager les divers travaux préparatoires.

Quelques personnes se sont libéralement offertes pour garantir l'État contre les pertes que pourrait entraîner l'Ex-

position, déduction faite des recettes qu'elle produirait ; l'association de garantie ainsi formée stipulait, en outre, que dans le cas où les comptes de l'Exposition se solderaient par un bénéfice, ce bénéfice serait remis au gouvernement pour être employé à une œuvre profitable au progrès de la science électrique.

Nous avons accepté ces propositions qui garantissaient l'État contre toute éventualité, et nous avons pu alors inviter les différents États à prendre part à l'exposition d'électricité.

La Belgique, l'Allemagne, l'Angleterre, les Etats-Unis de l'Amérique du Nord, l'Italie, l'Autriche, la Russie, la Suède, la Suisse, l'Espagne, la Norvège, les Pays-Bas, le Danemarck, la Hongrie et le Japon ont répondu à notre appel par la promesse de leur concours.

Les mêmes États, auxquels sont venus se joindre la Confédération Argentine, le Brésil, les États-Unis de Colombie, la République de Costa-Rica, les États-Unis du Mexique, les États-Unis de Venezuela, la Grèce, le Guatemala, le Luxembourg, le Nicaragua, le Portugal et le Salvator ont, en outre, désigné leurs délégués au Congrès.

L'Exposition a été ouverte le 10 août.

Si, au début, tous les exposants n'étaient pas également prêts, quinze jours ne s'étaient pas écoulés que l'Exposition était complète.

Dès le 27 août, le palais de l'Industrie, éclairé à la lumière électrique, était ouvert tous les soirs.

1,764 exposants français ou étrangers ont pris part à l'Exposition.

Ils se répartissent ainsi par nations :

France.	937	Italie.	81
Allemagne.	148	Japon.	2
Autriche.	37	Norvège.	19
Belgique.	208	Pays-Bas.	18
Danemarck.	5	Russie.	88
Espagne.	33	Suède.	23
Angleterre.	122	Suisse.	21
Hongrie.	10		

Le service de la force motrice et de l'éclairage a utilisé 32 chaudières présentant un ensemble de 1.339 mètres carrés,

fournissant la vapeur à 39 machines, développant une force nominale de 1.267 chevaux et une force effective de plus de 1.600 chevaux; 12 machines à gaz.

Le nombre des visiteurs payants n'a pas été moindre de 673.473.

Les entrées gratuites ont été en nombre considérable. Des cartes en effet ont été accordées libéralement aux écoles, distribuées dans les ateliers, etc.

Deux jours ont en outre été pour clore l'Exposition, exclusivement réservés aux entrées gratuites. Plus de 80.000 personnes ont pu pénétrer dans le palais pendant ces deux journées.

Les recettes, y compris la subvention de 200.000 francs accordée par la loi du 27 décembre 1880 et la subvention de la ville de Paris, s'élevant à 25.000 francs, ont atteint la somme de. 1.048.417,68

Les dépenses actuellement payées sont de. . 689.490,48

D'où un produit net s'élevant à. 358.926,84

Mais il reste encore quelques frais à solder qui diminueront ce chiffre. Dès à présent, on peut être assuré que le bénéfice net ne sera pas moindre de 325.000 francs. C'est cette somme dépassant de 125.000 francs la subvention de l'État que l'association de garantie apporte dès à présent au gouvernement en le priant de l'appliquer à la création d'un laboratoire qui servira aux expériences d'électricité.

J'ai l'honneur de vous proposer, monsieur le Président, d'accepter la destination indiquée par l'association de garantie.

Le décret soumis à votre signature aura pour résultat de compléter les résultats de l'Exposition.

En ouvrant le palais de l'Industrie à la science de l'électricité et à ses applications, la France a attesté les immenses progrès obtenus dans ces dernières années, et, par les récompenses accordées, elle a encouragé de nouvelles découvertes pour un avenir prochain.

L'institution du laboratoire central d'électricité fournira de nouveau les moyens de travailler au développement de cette science, à laquelle l'avenir ouvre un champ si vaste.

Il continuera dans de plus modestes conditions les travaux du Congrès.

Ce laboratoire dépendra du département des Postes et des Télégraphes, qui a organisé l'Exposition et se trouve le plus directement intéressé dans la question, mais il profitera également à d'autres départements ministériels.

Je vous prie d'agréer, monsieur le Président, l'assurance de mon profond respect.

Le Ministre des Postes et des Télégraphes.

Signé : Ad. COCHERY.

En publiant ce Rapport, le *Journal Officiel* le fait suivre du décret suivant :

LE PRÉSIDENT DE LA RÉPUBLIQUE FRANÇAISE.

Sur le rapport du ministre des Postes et des Télégraphes,

Décrète :

Art. 1er. — Il est institué à Paris, sous la haute direction du Ministre des Postes et des Télégraphes, un laboratoire central d'électricité.

Art. 2. — La somme de 325.000 francs, dès à présent disponible sur les bénéfices de l'Exposition internationale d'électricité, est consacrée à l'organisation et à l'entretien de ce laboratoire.

Art. 3. — Un arrêté ministériel réglera l'organisation et les conditions du fonctionnement du laboratoire.

Art. 4. — Le ministre des Postes et des Télégraphes est chargé de l'exécution du présent décret.

Fait à Paris, le 24 février 1882.

Jules GRÉVY.

Par le Président de la République :

Le Ministre des Postes et des Télégraphes,

Ad. COCHERY.

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS TÉLÉGRAPHIQUES

ET DES ÉLECTRICIENS.

EXTRAIT DU DISCOURS PRONONCÉ

PAR M. LE LIEUTENANT-COLONEL WEBER, PRÉSIDENT.

M. le lieutenant-colonel Weber, président pour l'année 1882 de la Société de ingénieurs télégraphiques et des électriciens, a prononcé, en prenant la présidence à laséance du 10 janvier dernier, un discours dont nous extrayons le passage suivant, relatif à l'Exposition universelle d'électricitté de Paris :

Un événement de grande importance pour la science a distingué l'année 1881. Je veux parler du congrès international d'électricité qui a eu lieu à Paris en septembre dernier sous la présidence de M. Cochery, ministre des postes et télégraphes. Les membres du congrès, au nombre de deux cent quarante-un, appartenaient à toutes les nations. Le décret avait été signé assez longtemps avant, en octobre 1880, par M. Grévy, Président de la République ; MM. Barthélemy Saint-Hilaire, ministre des affaires étrangères, Sadi Carnot, ministre de l'intérieur, ainsi que M. Cochery, furent chargés de son exécution. Il serait difficile de faire un choix parmi les membres du congrès, mais pour donner une idée de sa compétence, je me bornerai à citer quelques noms : ceux de Du Bois-Raymond, Helmholtz, Siemens, en Allemagne, constituent une liste d'inventeurs et de savants bien connus. En Autriche, celui d'Hermann Militzer suffit comme type du savant officiel

qu'on ne peut oublier. Des trente-deux représentants belges, il serait injuste de nommer l'un avant l'autre. Du Brésil, de la Colombie, de Costa-Rica, du Danemarck et de l'Espagne sont venus des hommes qui se sont tous distingués dans leur propre pays. Pour les États-Unis, je n'ai qu'à mentionner le nom du professeur Rowland pour donner une idée de la valeur des représentants envoyés de l'autre côté de l'Atlantique. La France, il est inutile de le dire, fut représentée par tout ce ce qu'elle a de plus savant et de plus érudit dans le monde scientifique si renommé de ce pays distingué. Si nous nous tournons vers notre propre Royaume-Uni, nous pouvons bien être fiers des travaux de nos amis connus du monde entier par leurs inventions, leurs découvertes et leurs recherches désintéressées.

La Grèce, le Guatemala, la Hongrie, le Japon, les Pays-Bas. le Portugal, la Suisse et la Russie ont envoyé des délégués; enfin et peut-être le plus grand, Govi, a été envoyé par l'Italie. Le congrès s'ouvrit le 15 septembre et se divisa en trois sections. Sous la présidence exceptionnelle de M. Cochery, le travail fut partagé de telle sorte que les applications de l'électricité formèrent trois groupes, et les matières d'importance moindre ou exceptionnelle dans chaque section ont été abandonnées pour la discussion et l'échange des idées à des sous-comités des sections.

Les matières plus importantes ont été traitées dans des réunions complètes des sections; les rapports des comités ont été lus, puis discutés, et leurs conclusions, soumises au vote. Enfin, le résultat de toutes les délibérations a été rapporté et soumis aux décisions des réunions plénières du congrès. A l'exception d'un jour de repos, comme tribut à la mémoire du président Garfield, le congrès, ses sections ou ses comités, se sont réunis trois fois par jour et les travaux n'ont été terminés que le 5 octobre.

Comme tous les rapports seront bientôt publiés, je n'essaierai pas de donner une idée de l'importance immense de certains travaux; je me contenterai de parler d'une ou deux questions qui y furent traitées.

Une proposition a été faite par un membre pour que le congrès prît une décision ou exprimât l'opinion que les lignes

télégraphiques et téléphoniques attachées aux bâtiments ne sont pas une augmentation de danger pour eux en cas d'orage. Le professeur Helmholtz, sir William Thomson et autres ont pris part à la discussion. M. Lartigue et M. Bède, tous les deux intéressés à l'établissement des lignes au-dessus des maisons, l'un à Paris, l'autre à Bruxelles, demandèrent énergiquement une décision favorable. Néanmoins, en théorie la question a été envisagée au point de vue du danger des personnes se servant de l'appareil ou manœuvrant des objets environnants dans l'intérieur d'une maison. D'un autre côté, en ce qui concerne la pratique. on a été unanime pour reconnaître que si les lignes télégraphiques placées sur les maisons n'étaient pas un préservatif, elles ne faisaient courir aucun danger.

On considérera probablement ici cette opinion sur la pratique comme n'étant pas loin de l'erreur; mais, sur le continent, la pratique sous ce rapport est très limitée si on la compare à la grande extension des lignes au-dessus des maisons ici et dans toute l'Amérique. Le congrès cependant a donné tout le poids de son autorité à cette question, soulevée probablement en vue des résultats commerciaux que peut fournir cette décision.

Le travail remarquable de la commission sur les unités électriques, sous la présidence de M. Dumas, a été déjà complètement décrit dans les journaux; mais je dois ajouter que plusieurs des membres du congrès ont insisté sur l'importance, pour l'électro-biologie et la thérapeutique, d'avoir des unités uniformes de mesure. M. d'Arsonval a montré les graves accidents qui peuvent survenir dans la pratique par défaut d'entente et d'uniformité sous ce rapport.

Si le congrès, avant sa séparation, n'avait obtenu que ce seul résultat, sa réunion aurait déjà un résultat mémorable. Les noms des membres de la commission chargés de la discussion des étalons des unités électriques sont ceux de trente et un des plus notables électriciens de l'Europe. Quatre résolutions des plus importantes ont été adoptées, résolutions qui ne pouvaient émaner que d'hommes qui, ayant sondé les profondeurs de la science, étaient capables d'apprécier les nécessités de son application pratique. Le congrès, dans sa sagesse, et, en voyant les difficultés de concilier les avis contraires, a confié à une commission internationale le soin de

déterminer la longueur de la colonne de mercure de 1 millimètre carré de section à une température de 0 degré centigrade qui représenterait l'unité de résistance, un ohm.

Un nombre considérable des membres du congrès n'ont accepté ces décisions qu'à titre provisoire et seulement en vue de l'organisation d'une commission internationale d'un caractère permanent, dont la mission serait d'établir sur une base relativement exacte les unités électriques fondées sur des expériences scientifiques faites avec le plus grand soin et après un examen minutieux de la question sous toutes les faces; ils demandèrent que leur déclaration fût insérée au procès-verbal des travaux du congrès.

Le congrès a demandé au gouvernement français de se mettre en relation avec les autres gouvernements pour nommer un comité international dans le but de faire les recherches nécessaires et d'arriver à une détermination finale et absolue à ce sujet.

Le congrès s'est occupé d'un autre projet et des plus intéressants, qui a déjà attiré l'attention de notre société, c'est l'observation des phénomènes des courants terrestres et atmosphériques et la réunion d'une statistique sous une même forme, pour un espace étendu de l'Europe. Le gouvernement français s'est chargé de faire des ouvertures aux autres nations, afin de former une commission internationale qui serait chargé de ces travaux, et le congrès a exprimé le désir que des arrangements fussent pris également pour que des observations simultanées, quant au jour et à l'heure, fussent faites par la commission internationale pendant les expéditions polaires.

Au sujet de la jauge du fil, le congrès a adopté l'emploi du millimètre pour tous les pays à l'exclusion de toute autre jauge. Cette résolution aura pour effet de porter les ingénieurs télégraphistes à abandonner peu à peu l'usage de la jauge de Birmingham et des autres jauges. Pour cela les grands consommateurs doivent commencer à employer le millimètre dans la désignation de leurs spécifications.

L'attention du congrès s'est portée sur l'importance des conditions de la culture des arbres donnant la gutta-percha. C'est là un sujet qui peut intéresser au plus haut point les membres de notre société, en vue de la grande augmentation

des besoins, notamment pour l'éclairage électrique, qui a entraîné une grande élévation dans les prix. Il convient de signaler ce fait, étonnant pour ceux qui ont une grande expérience dans l'emploi de la gutta-percha, que les meilleurs échantillons ont plus que doublé de valeur sur le marché tandis que les mélanges n'ont augmenté que modérément de prix.

MM. Ménier, qui en quatre années ont créé une usine importante de câbles près de Paris, ont reconnu la nécessité de se préoccuper de l'avenir en vue du rapide épuisement de l'approvisionnement qui doit arriver par suite du manque de lois pour la protection des arbres à gutta-percha du Brésil.

Ils ont désiré récolter le produit sous leur propre contrôle sur une partie d'une des colonies françaises où ils avaient acheté ce droit. Cet essai leur a prouvé qu'une réelle protection et conservation des arbres ne peut être efficace qu'autant qu'elle sera entreprise par les gouvernements ou par des compagnies très puissantes. Leur acquisition a rapporté fort peu de chose par suite de l'impossibilité d'empêcher les maraudeurs de rechercher ce produit.

Une suggestion, émanant de cette société, pourrait provoquer une organisation qui serait sous le contrôle de nos grands consommateurs. L'industrie anglaise est toujours prête à répondre à de telles ouvertures, si vaste que soit le projet, si grand que soit le capital nécessaire, quand il est prouvé que le bénéfice ultérieur est certain.

Depuis plusieurs années, ceux qui étaient assez au courant de la question pour prévoir le manque de gutta-percha ont fait des efforts pour trouver une matière analogue ; mais on n'a pas encore réussi. C'est pourquoi je crois qu'il est temps, pour une société comme la nôtre, de se charger de l'enquête, et je suis sûr que nous servirions les intérêts du commerce en offrant un prix au meilleur mémoire sur l'*Histoire de la culture et de la récolte de la gutta-percha brute et autres gommes de même nature*, avec un rapport sur les différents produits offerts sur les marchés européens et l'avenir probable de cette substance.

Il peut être intéressant de rappeler que le nombre des diélectriques malléables va se trouver probablement augmenté

par la découverte de l'*Insulite*. Dans cette substance, la tendance de la fibre végétale à absorber l'humidité, due à sa forme tubulaire et par laquelle les qualités isolantes naturelles des couches de cellulose sont neutralisées, est annulée par une dessication complète, qui porte la matière à son plus haut degré d'isolement. La fibre, desséchée, est imprégnée sous une pression à une haute température d'une composition de paraffine et de résine, ce qui donne une substance artificielle que l'on dit être égale en qualité à la gutta-percha comme flexibilité et à l'ébonite comme solidité et inattaquable par les corrosifs ou par l'amosphère.

Un sujet qui attire maintenant l'attention de notre Société a aussi été présenté au Congrès. On a discuté sur les droits respectifs des compagnies dont les câbles sont voisins ou se croisent, compagnies que, jusqu'à ce jour, personne n'a songé à garantir. On a fait remarquer que les grandes lignes de l'Océan, propriété de grands intérêts industriels et d'une grande importance pour la société, en général, n'avaient pas une sécurité en proportion de leur valeur. La juridiction des pays voisins sur le fond de l'Océan est une question de droit très importante et qui peut bien occuper l'attention de celui qui s'occupe du droit international. D'un moment à l'autre, par exemple, une question gênante peut être soulevée par l'Allemagne, jetant un câble dans le canal anglais à travers tous les câbles aboutissant à la côte sud de l'Angleterre. Une question non moins compliquée est celle qui se présenterait si tous les câbles étaient interrompus en même temps. Ceci étant un sujet de loi internationale, le Congrès a recommandé vivement au gouvernement français de faire des propositions aux autres gouvernements pour former une commission internationale pour l'étude de cette question. — En même temps, le Comité de votre Société fera bien de formuler un projet de loi, particulièrement en ce qui concerne le Royaume-Uni, le plus intéressé dans la question des câbles.

La mesure de la lumière électrique a entraîné une discussion prolongée dans la troisième section du Congrès. L'assemblée s'est partagée en deux camps par suite de l'attitude prise par les membres français; ceux qui, jusqu'ici, s'étaient servi de la bougie comme unité de lumière, quoique admet-

tant ses défauts, étaient opposés à l'adoption définitive de la lampe carcel comme unité réclamée instamment par les Français.

Comme mesure de la valeur de lumière du gaz, chacune de ces unités répond parfaitement au but; mais lorsqu'on les emploie pour la comparaison avec une lumière aussi intense et d'une couleur si différente que celle de l'arc électrique, leur insuffisance est évidente. En dépit de la pression exercée pour faire prévaloir l'unité carcel, le congrès a demandé à son président, M. Cochery, de s'efforcer de réunir une commission internationale qui aurait pour tâche d'examiner entièrement cette question, de faire les expériences nécessaires et, si possible, de décider une unité de lumière convenable pour essayer photométriquement la lumière électrique.

On a fait aux Français une grande concession en décidant qu'en attendant le résultat, le jury de l'Exposition internationale d'électricité, alors sur le point de commencer ses travaux, ferait usage de la lampe carcel comme unité dans ses essais comparatifs des appareils qu'il avait à juger et à récompenser.

J'ajouterai que la valeur comparative entre la bougie et la lampe carcel, brûlant chacune dans des conditions définies et bien connues, peut être évaluée à 9.61, chiffre obtenu par moi et M. Rowden, après une série d'expériences faites à Paris en 1867.

Il peut s'écouler quelque temps avant que l'Europe veuille accepter une unité de lumière. L'Allemagne et l'Angleterre tiennent à l'expression bougie; la France tient également à son unité. A moins que l'on ne soit complètement satisfait par la découverte d'un étalon de mesure irréprochable, les anciennes expressions, actuellement en usage, seront probablement maintenues. Le mot « Bougie », étant usuel et intelligible pour tous, est accepté et compris comme une expression familière. Le pouvoir bougie, comme le pouvoir cheval, sera un terme difficile à enlever. Le monde, en général, ne s'intéresse pas aux unités fondamentales.

CHRONIQUE.

Fils téléphoniques en bronze phosphoreux.

(Extrait d'une Note de M. Montefiore-Levi, ingénieur civil.)

Depuis quelque temps on emploie sur une grande échelle, pour les transmissions téléphoniques, le fil de *bronze phosphoreux*. Les avantages qu'il offre sont nombreux et importants; nous essayerons d'en donner une idée.

Le cuivre rouge qui conviendrait parfaitement sous le rapport de la conductibilité, ne s'écrouit pas à la filière, possède peu d'élasticité et s'allonge indéfiniment sous de très faibles charges. Le bronze phosphoreux, au contraire, s'écrouit très bien; sous un faible écrouissage, le fil devient demi-dur, se laisse dérouler facilement, prend une élasticité qui écarte tout danger d'allongement après tension et atteint une résistance, largement suffisante, de 60 à 70 kilogrammes par millimètre carré. Nous ne dépassons pas cette limite dans le fil téléphonique, parce qu'au delà, vers 90 à 100 kilogrammes de résistance, le fil devient dur, élastique et partant, d'une pose difficile.

Le fil ordinairement employé a $1^{mm},25$ de diamètre. Cette diminution considérable de diamètre, que rend possible la grande résistance élastique du métal, est une source de précieux avantages. Avec du fil de fer galvanisé, il n'est guère prudent de descendre au-dessous de 4 millimètres de diamètre, représentant 110 kilogrammes par kilomètre; le fil d'acier ne s'emploie pas au-dessous de 2 millimètres et pèse environ 33 kilogrammes par kilomètre, tandis que le bronze phosphoreux au diamètre de $1^{mm},25$, présentant une complète sécurité, ne pèse que 10 à 11 kilogrammes par kilomètre, d'où résulte une réduction très grande du poids des transmissions. Cette légèreté comparative, jointe à la résistance du fil, donne

la possibilité d'adopter des portées très longues sans la moindre crainte de rupture : ainsi, à Bruxelles, on peut relever en divers points du réseau des portées de 300 à 400 mètres, et à Gand, avec du fil de bronze phosphoreux de 8/10 de millimètre de diamètre, on a atteint des portées de 500 mètres; elle procure la facilité de supprimer bon nombre de supports, tout en permettant de faire usage de supports moins massifs; enfin elle permet de tendre plus fortement le fil et d'éviter les contacts fortuits qui s'établissent entre des fils trop lâches.

Dans les conditions particulières où s'opère la pose des lignes téléphoniques aériennes, où chaque support à placer devient une source de dépenses et de difficultés de toute nature, où les ouvriers doivent non seulement travailler dans les positions les plus incommodes, mais sont obligés de traverser avec leur charge de fil les couloirs, escaliers de service, etc., des maisons habitées, on conçoit facilement quels avantages procure la diminution considérable du poids du fil et la réduction du nombre des points d'appui, non seulement comme facilité de pose, mais aussi comme prix de revient des lignes. En effet, dans la pose d'une ligne téléphonique, le coût final est beaucoup plus influencé par les facilités de pose que par le prix du fil lui-même; c'est ainsi que, bien qu'à longueur égale le fil de bronze phosphoreux coûte davantage que le fil d'acier correspondant (à moins d'adopter le fil de bronze phosphoreux de 8/10 de millimètre qui coûte approximativement le même prix au kilomètre de fil que l'acier, mais dont nous ne conseillons pas l'emploi pour des raisons spéciales comme on le verra plus loin) le prix du kilomètre de ligne téléphonique en fil de bronze phosphoreux de $1^{mm},25$, posé, est très inférieur à celui du kilomètre de ligne en fil d'acier de 2 millimètres.

La ténuité plus grande de notre fil constitue en elle-même un avantage qui sera surtout apprécié à mesure que les transmissions compteront un nombre plus considérable de fils; dès à présent, pour des lignes de quelques fils, la différence d'aspect frappe l'observateur le moins attentif. Que sera-ce lorsque les communications se seront développées au point de former sur nos têtes un véritable réseau ?

Les lignes en bronze phosphoreux moins lourdes, moins

compactes offrent moins de prise à l'action du vent; elles fatiguent beaucoup moins les supports. Les transmissions aériennes, en général, se composant d'une série de fils fixés à un toit qui fait office de résonnateur produisent fréquemment un bruit fort incommode à l'intérieur des habitations, cet inconvénient est très atténué par l'emploi du fil plus mince.

Dans cet ordre d'idées, on se demandera pourquoi nous ne préconisons pas l'adoption d'un diamètre de fil encore plus réduit. Théoriquement, rien ne s'y oppose, mais dans la pratique se présente une objection très grave : à Bruxelles notamment, on a posé un nombre considérable de transmissions composées de fil de bronze phosphoreux de 8/10 de millimètres qui fonctionnent parfaitement; seulement le maniement d'un fil aussi mince (la section n'atteint pas un demi-millimètre carré) exige une très grande habitude; ce fil devant de toute nécessité, être fortement écroui, est par conséquent fort élastique et requiert pour son placement des ouvriers très expérimentés.

On s'explique aisément les difficultés que présente le déroulement d'un fil aussi mince dans les conditions malaisées de travail où se trouvent les ouvriers poseurs: au moindre enchevêtrement le rouleau est perdu; si un nœud se forme dans le fil, celui-ci casse inévitablement à cet endroit lorsqu'on le tend. Toutes ces objections disparaissent absolument en employant le diamètre proposé de $1^{mm}.25$.

Nous invoquerons encore en faveur du fil de bronze phosphoreux son inoxydabilité, grâce à laquelle il n'exige aucun enduit. La nécessité d'un enduit préservateur du fil de fer ou d'acier est assurément un sérieux inconvénient; avec quelque soin que l'enduit soit appliqué, on a toujours à craindre des solutions de continuité. Or, dans le fer galvanisé, par exemple, la moindre solution de continuité dans la couche de zinc est une cause de détérioration rapide du fil: la plus légère trace d'humidité crée au contact des deux métaux une véritable pile qui amène rapidement leur corrosion.

Il n'est pas sans intérêt de faire remarquer que le fil de bronze phosphoreux mis hors d'usage conserve une valeur intrinsèque relativement élevée, ce qui n'est pas le cas pour le fil de fer ou d'acier.

Charrue à poser les câbles électriques.

Les communications électriques vont tous les jours se multipliant et ce mouvement voit tous les jours augmenter sa rapidité. L'invention du téléphone et ses applications de plus en plus fréquentes ont entraîné la pose de conducteurs très nombreux et en exigent constamment une plus grande quantité. Dans ces installations, les lignes aériennes compteront probablement pour le plus grand nombre; elles sont économiques, d'une installation simple, et d'une surveillance facile ; mais d'autre part, elles sont exposées aux intempéries, à la malveillance, sujettes aux dérangements : il est donc certain qu'en maintes circonstances on fera usage de lignes souterraines. Le principal inconvénient de ces dernières est particulièrement dans leur haut prix. Les câbles veulent un isolement soigné ; et leur mise en place est une opération assez laborieuse. Celle-ci offre particulièrement des inconvénients en ce que, outre les dépenses qu'elle entraîne, elle exige du temps. Dans certains cas, par exemple à la guerre, on trouverait grand avantage à se servir des lignes souterraines, mais il est bien rarement possible de les installer : on n'en a pas le temps.

On a inventé des instruments propres à accélérer et à faciliter la pose de lignes souterraines. Ces appareils se présentent naturellement sous une forme analogue à celle d'une charrue, le principal travail étant l'ouverture d'une tranchée suffisamment profonde. C'est là l'opération réellement onéreuse et c'est en raison de son prix qu'on n'applique jusqu'ici les lignes souterraines que dans les cas où l'on peut profiter d'une seule tranchée pour faire passer plusieurs lignes.

Il y avait à l'Exposition deux charrues ainsi disposées pour la pose des câbles électriques souterrains : l'une était dans la section allemande ; elle était légère et ne pouvait atteindre qu'une petite profondeur.

Il y a lieu de penser qu'elle a été imaginée principalement pour les usages militaires et qu'elle est destinée à opérer rapidement dans une installation un peu provisoire. Dans ces conditions l'utilité de l'appareil n'est plus très grande; l'intérêt est de pouvoir opérer à l'aide de l'instrument une pose définitive.

C'est le but qu'atteint l'autre charrue que l'Exposition nous a montrée. Celle-ci est due à un ingénieur français, M. Jules Bourdin. Un disque lenticulaire précède le soc, coupe les racines, en un mot, ouvre la tranchée ; le soc est muni à l'arrière d'un tube recourbé et dépose le câble au fond même du sillon que le rouleau compresseur de la machine vient fermer ; la machine porte un chevalet à treuil destiné au maintien et au remplacement des bobines sans qu'on ait besoin d'un personnel nombreux. L'instrument est simple, robuste et bien étudié ; il doit donner de bons résultats. L'inventeur a pris soin de réduire la tranchée au minimum de largeur tout en lui conservant une profondeur qui est, paraît-il, à peu près de 1 mètre.

Les circonstances qui ont conduit M. Bourdin à construire l'appareil que nous venons de décrire sont assez curieuses. Il eut, il y a quelques années, à installer un réseau télégraphique entre diverses usines et ateliers qui sont disséminés sur les domaines d'un riche et actif propriétaire russe, le général de Maltzoff. Il paraît que, dans ce pays, il est très difficile de conserver les lignes aériennes ; les paysans respectent à peu près les lignes de l'État ; y toucher coûterait trop cher, mais les lignes particulières sont constamment détériorées ; les paysans n'hésitent pas à prendre le fil pour rattacher leur charrette brisée ou pour tout autre motif du même genre. On est donc absolument obligé de recourir aux lignes souterraines, et il y a un intérêt puissant à les installer par les moyens les plus rapides et les moins coûteux ; c'est pourquoi M. Bourdin a cherché à résoudre ce dernier problème par l'emploi de sa charrue, et c'est à l'aide de cet appareil qu'a été faite l'installation dont il était chargé.

En ce qui concerne la vitesse avec laquelle on peut poser les câbles par ce moyen, des renseignements qui ont été fournis par un agriculteur permettent de s'en rendre compte. Une charrue ordinaire, attelée de trois bons chevaux et marchant toujours en ligne droite, peut faire, d'après son estimation, 4 kilomètres à l'heure, au maximum. Le sillon creusé est alors de 30 centimètres de profondeur. Cette vitesse ne pourrait pas être de beaucoup dépassée, même dans un sol tout à fait meuble, parce qu'elle réprésente la vitesse maxi-

mum de chevaux marchant au pas ; or, il n'est pas possible de labourer au trot. Cependant, en augmentant la force de traction, les dispositions spéciales de la charrue pose-fils doivent permettre d'augmenter un peu la vitesse et d'aller jusqu'à 5 kilomètres à l'heure ; c'est en effet cette vitesse à laquelle est arrivé l'inventeur dans les travaux faits par lui en Russie. La difficulté de labourer profondement réside surtout dans la résistance du sous-sol et la profondeur de la couche superficielle détermine la profondeur maximum du sillon. Souvent cette profondeur ne pourra être bien grande ; mais il y aura des cas où la pose des câbles pourra être considérablement activée par l'emploi des charrues de M. Bourdin.

La Lumière électrique.)

Sur les causes qui produisent la résonnance des téléphones installés pour transmettre la parole à de longues distances.

La disposition extérieure d'une ligne télégraphique aérienne inspire à tout spectateur attentif les réflexions suivantes :

Selon que la direction des fils de fer conducteurs est parallèle au méridien magnétique, ou fait avec ce dernier un angle plus ou moins grand, il se développe en eux une plus ou moins grande quantité de *magnétisme de position*. Les secousses que ces fils ont à supporter dans la suite augmentent et affermissent ce magnétisme. L'exploitation de la ligne exerce aussi son influence. En sorte que, avec le temps, chaque fil devient un aimant artificiel. Une ligne téléphonique ou un réseau complet de fils forme un faisceau d'aimants, dont l'un des pôles se trouve au bureau central, et dont les autres pôles sont répartis chez les divers abonnés.

Considérons ensuite que la distribution du magnétisme sur un corps s'effectue de telle sorte que le magnétisme libre (celui qui peut agir à l'extérieur) se concentre aux pôles ; que le magnétisme latent (celui qui n'a pas d'influence à l'extérieur) est rassemblé dans les parties médianes. Remarquons, en outre, que chaque variation dans l'intensité du magné-

tisme d'une tige fait varier celui des autres tiges, et appliquons ces principes à un réseau téléphonique considéré comme un faisceau d'aimants. Nous trouverons dès lors l'explication de ce phénomène, mis en évidence par l'exploitation et une série de recherches, que la résonnance ne se produit nettement que dans les téléphones qui forment les pôles de faisceau.

Le fait que les fils de fer aériens deviennent magnétiques avec le temps fournit aussi la réponse à la question suivante : Y a-t-il moyen de faire disparaître tout à fait la résonnance dans les installations téléphoniques communes? Oui, à la condition d'abandonner le système actuel des conducteurs aériens en fer et d'employer des câbles.

Essig, *télégraphiste.*

Avenir des applications électriques.

Nous reproduisons, d'après les journaux anglais, le résumé suivant de la conférence qu'a faite dernièrement, à la Société des Arts, M. le professeur J. Perry, sur l'avenir des applications électriques.

L'énergie électrique, a-t-il dit, peut être transmise à distance et même à plusieurs milliers de milles, mais peut-elle être transformée, à l'endroit éloigné, en force mécanique ou en toute autre forme voulue d'énergie à peu près égale en quantité à ce qui a été fourni? Malheureusement, jusqu'ici la réponse pratique donnée par les machines existantes est qu'elle ne le peut pas. Mais, heureusement aussi, les expériences de Joule et d'autres faits nous disent que dans les machines électriques de l'avenir et dans leurs fils de liaison, il y aura peu d'échauffement, et par conséquent peu de perte. Nous aurons, avant longtemps, de grandes stations centrales, probablement situées au fond de puits de houillères, où d'énormes machines à vapeur mettront en mouvement d'énormes machines électriques. Nous aurons des fils posés le long de chaque rue, enroulés dans chaque maison, comme le sont à présent les conduites de gaz; nous enregistrerons la

quantité d'électricité employée dans chaque maison, comme nous le faisons aujourd'hui du gaz; et l'électricité passera à travers de petits moteurs électriques capables d'actionner des machines pour produire la ventilation, pour remplacer les poêles et les feux, pour faire mouvoir des éplucheurs de pommes, des brosses de barbiers et une foule d'objets, de même que pour donner à chacun de la lumière.

On avait supposé que, pour transmettre la puissance hydraulique des chutes du Niagara à New-York, il faudrait un câble en cuivre d'une épaisseur énorme. Le professeur Ayrton a montré que toute cette puissance pourrait être transmise par un mince fil de cuivre, si ce fil pouvait être suffisamment isolé. Il a aussi montré que ce qui nous empêchait de recevoir toute cette puissance était le frottement mécanique qui se produit dans les machines. Il a montré, enfin, comment on peut se débarrasser de ce frottement électrique. M. Ayrton et M. Perry sont arrivés à cette conclusion : que de très grandes machines à courant continu, avec excitateurs séparés, ou peut-être même des machines magnéto-électriques, mises en mouvement par des machines à vapeur, tiendront une place importante dans la transmission future de l'énergie par les méthodes électriques. Avec des machines semblables, il serait possible de chauffer, d'éclairer, de donner aux grands et aux petits ateliers la force nécessaire pour mettre en mouvement leurs machines au moyen d'un fil télégraphique ordinaire (mais avec une méthode d'isolement exceptionnellement bonne), transmettant de l'énergie d'une distance aussi grande que les chutes du Niagara. Les expériences du docteur Siemens ont prouvé d'une manière absolument certaine que l'établissement de chemins de fer électriques partout n'était qu'une question de capital.

Après un certain nombre d'expériences intéressantes, relativement à l'enmagasinage de l'énergie, le conférencier a terminé en exhibant des modèles, à l'appui de sa croyance, qu'il deviendra possible, au moyen de l'électricité, de voir à Londres, par exemple, ce qui ce passera dans une ville éloignée.

(*Les Mondes*.)

Sur la résistance des liquides à électrodes polarisées.

D'après les recherches de Kohlrausch, des courants rapidement alternés ne polarisent pas les électrodes plongeant dans un liquide, pourvu que ces électrodes aient une surface assez grande; le liquide se comporte alors comme un véritable conducteur métallique.

En partant de ce principe, Kohlrausch et d'autres ont déterminé la résistance d'un grand nombre de liquides avec beaucoup plus de facilité et d'exactitude qu'il n'eût été possible de le faire par les anciennes méthodes.

M. Émile Cohn vient d'appliquer la même méthode à la mesure de la résistance d'un liquide à électrodes polarisées par un courant constant, en d'autres termes, à la séparation des deux constantes : polarisation et résistance.

Dans trois des bras d'un pont de Wheatstone, il place des résistances connues de a unités; dans le quatrième, la cuve polarisée à essayer et une résistance variable x. Dans chacune des diagonales, il intercale une des bobines d'un électro-dynamomètre, et dans la diagonale qui contient ordinairement la pile, il place en outre une machine d'induction rotative à courants alternatifs. En équilibrant la résistance x jusqu'à ce que l'aiguille de l'électro-dynamomètre reste immobile pour toutes les vitesses de l'appareil d'induction, la résistance du liquide est exprimée par $a-x$.

Si l'on intercale à la suite de la cuve dans le quatrième bras du pont quelques éléments Callaud, la bobine du dynamomètre dévie d'une certaine quantité. Quand par suite du réglage de x, cette déviation n'est plus changée par les courants d'induction alternatifs, la somme de la résistance de la cuve et des éléments est encore égale à $a-x$. On peut alors déterminer séparément, par la même méthode, la résistance des éléments seuls, et déterminer ainsi celle de la cuve polarisée. Si dans la diagonale, qui ne contenait d'abord qu'une des bobines du dynamomètre, on place également un galvanomètre, après l'égalisation des bras du pont, on a une mesure directe de la force électro-motrice existant dans le quatrième bras. Si l'on mesure la déviation quand ce bras contient une

force électro-motrice connue (de 12 Daniells), puisqu'on la mesure après intercalation de la cuve, on a la polarisation produite sous l'influence de cette force électro-motrice; avec des dérivations, on peut avoir des fractions en Daniell.

En mesurant, de cette façon, la polarisation et la résistance d'une cuve d'eau faiblement acidulée, contenant des électrodes de platine, de 15 centimètres carrés de surface, sous l'influence de forces électro-motrices variant de 0 à 2 Daniells, l'auteur est arrivé à cette conclusion que la résistance n'est pas altérée par la polarisation.

Mais on pouvait objecter à ce résultat que les effets produits à chaque électrode se contrebalançaient. C'est pourquoi M. Cohn, à l'aide d'un nouvel arrangement qui ne pourrait être expliqué sans une figure, a étudié l'effet produit à chaque électrode.

Il a reconnu que la polarisation par l'hydrogène augmente la résistance, tandis que la polarisation par l'oxygène la diminue.

Cela est dû sans doute à ce que, dans la polarisation par l'hydrogène, il se forme contre l'électrode une couche d'eau pure moins conductrice que le reste du liquide, tandis que la polarisation par l'oxygène détermine en même temps la formation d'une couche plus riche en acide et plus conductrice.

L'effet, d'ailleurs, est assez faible : ainsi dans un cas où le liquide avant la polarisation avait une résistance de 8,33 unités Siemens, cette résistance s'est abaissée à 7,75 par la polarisation de l'oxygène, et s'est élevée à 8,73 par la polarisation de l'hydrogène. M. E. Cohn pense donc que dans la pratique on peut négliger cette différence et admettre comme résistance d'un liquide, après polarisation, la résistance déterminée avant la polarisation.

(*La Lumière électrique.*)

Modification du pont de Wheatstone.

La comparaison entre elles de bobines de résistance étalonnées exige beaucoup de soin et l'emploi d'un pont de Wheat

stone disposé de manière à donner des résultats à grande précision. Dans ce but, M. Flemeng substitue au pont ordinaire un appareil construit de la manière suivante :

Un fil de platine iridié de 2^{mm},35 de diamètre, de 975 millimètres de longueur et d'une résistance totale de 0^{ohm},0512 est encastré circulairement dans une rainure que porte un disque horizontal en ébonite. Sur ce fil, qui fait saillie en dehors du disque, on peut appliquer au moyen d'un ressort l'arête vive d'un couteau vertical en platine iridié, porté par une alidade de résistance négligeable qui peut tourner autour du centre du disque. Le fil de platine fait presque entièrement le tour du disque et une division en millièmes de la longueur du fil est gravée sur celui-ci le long du fil. A l'aide d'un vernier que porte l'alidade, on peut apprécier un dixième de division.

Cet anneau de platine relie l'un à l'autre, dans un pont de Wheatstone, les deux bras sur lesquels on doit placer les bobines à comparer. Les deux autres bras contiennent les bobines auxiliaires sensiblement égales. Le galvanomètre communique d'une part avec l'alidade mobile, d'atre part, avec la pièce de jonction entre les bobines auxiliaires. La pile est reliée aux deux autres extrémités du losange. De cette façon le fil circulaire appartient à la fois aux deux bras du pont dans lesquels sont les bobines à comparer A et B, et l'alidade forme, pour ce côté du losange, un sommet mobile. Pour faire la comparaison, on place l'alidade de manière que le galvanomètre soit au zéro, puis on intervertit les communications de A et B. L'alidade doit alors être de nouveau déplacée pour que le galvanomètre reste au zéro. On fait une nouvelle lecture. La différence entre les deux observations donne la différence entre la résistance des deux bobines.

Dans cet appareil, les tiges des bobines plongent dans des godets de mercure formés par des chevilles en cuivre que surmonte un petit cylindre d'ébonite, et les tiges des bobines sont tenues dans ces godets par la traction d'un ressort fixé à la table de sorte que le contact est parfait. L'interversion des bobines se fait par un commutateur très simple.

Pour que la température reste constante, chaque bobine est renfermée dans un vase à deux enveloppes, séparées par

une couche d'air. Autour de l'enveloppe extérieure circule un courant d'eau froide.

(*La Lumière électrique*.

Les piles et condensateurs de M. Varley.

L'*Engineering* nous apprend qu'à une récente réunion de la Société des ingénieurs télégraphiques, M. Cromwell F. Varley, F. R. S., a présenté une forme de pile Daniell brevetée par lui en 1854. Chose assez curieuse, ce brevet est resté complètement ignoré et les appareils qui y sont décrits ont été brevetés trois fois depuis par MM. Charles Wheatstone, Minotto et Marié-Davy. L'élément présenté par M. Varley se compose d'un vase de verre au fond duquel est placée une boîte plate en cuivre dont le dessus est percé de trous et qui est remplie de cristaux de sulfate de cuivre; une électrode isolée relie cette boîte à l'extérieur. Eu haut du vase est suspendu un morceau de zinc de forme conique bien amalgamé et portant aussi son électrode. La forme conique du zinc a pour but de faciliter le dégagement de l'hydrogène et le détachement du cuivre déposé sur le zinc. Le liquide employé est un mélange à volumes égaux d'eau et d'acide sulfurique. Une couche de matière poreuse, d'argile calcinée, par exemple, est placée au-dessus du couvercle percé de trous de la boîte de cuivre. Les cristaux de sulfate se dissolvent dans le liquide et le rendent plus dense, de sorte que la dissolution se maintient au fond du vase. Une certaine quantité arrive cependant par diffusion jusqu'au zinc et y provoque un dépôt de cuivre. Pour empêcher ce dépôt, M. Varley siphonne de temps en temps le liquide au-dessous du zinc. D'après lui, l'amalgamation maintient constante la force électro-motrice du zinc, qu'il soit ou non couvert de métaux étrangers.

M. Varley a indiqué aussi, comme remontant à la même époque (1854), la pile à sulfate de mercure employée depuis par M. Marié-Davy. Enfin, le même brevet contenait l'indication des condensateurs d'induction pour l'emmagasinement de l'électricité. Ces condensateurs ne sont pas des accumulateurs secondaires, mais des condensateurs statiques,

comme ceux que l'on emploie aujourd'hui en télégraphie et ceux dont M. Jablochkoff s'est servi pour ses expériences d'éclairage.

La Lumière électrique.

BIBLIOGRAPHIE.

Leçons d'électricité et de magnétisme, par MM. Mascart et Joubert (Masson, éditeur).

MM. Mascart et Joubert viennent de faire paraître sous ce titre le premier volume d'un ouvrage important, qui a pour point de départ les leçons professées pendant plusieurs années au Collège de France par M. Mascart.

L'ouvrage complet doit comprendre deux parties : la première, simplement théorique, forme le volume qui vient d'être pnblié ; dans la seconde, les auteurs se proposent d'examiner à un point de vue plus expérimental les différents phénomènes, les méthodes de mesure et les principales applications de l'électricité.

Le premier volume constitue en somme un ouvrage distinct et peut être considéré comme un *Essai sur la théorie mécanique de l'électricité*. Les auteurs ont fait, ainsi qu'ils le reconnaissent, de nombreux emprunts aux travaux des savants qui ont le plus contribué dans ces derniers temps à établir la théorie mathématique de l'électricité, et en particulier aux *Mémoires* de sir W. Thomson et au *Traité* de Clerk Maxwell.

La première partie, consacrée à l'électricité statique, contient les définitions préliminaires, la théorie du potentiel, les lois de l'équilibre électrique, la théorie des condensateurs, des images, etc.

Les lois et les propriétés du courant électrique à l'état permanent et pendant la période variable, l'étude des piles et des sources thermo-électriques forment la seconde partie.

Les phénomènes magnétiques sont traités dans la troisième partie, dans laquelle on trouve les théories de Poisson, de sir W. Thomson, de Weber, de Maxwell, etc.

Enfin, la quatrième partie est consacrée à l'électro-magnétisme, à l'induction, aux unités électriques et aux théories générales d'Ampère, de Gauss et Weber, etc.

Cet ouvrage comble une lacune qui existait en France dans la science de l'électricité. Nous n'essayerons pas d'en donner aujourd'hui une analyse, nous réservant de revenir sur les diverses théories qui s'y trouvent rassemblées et peuvent être étudiées isolément.

Le Gérant : DUNOD — Imprimerie C. Marpon et F. Flammarion, 26, rue Racine.

ANNALES
TÉLÉGRAPHIQUES

Année 1882 Mars-Avril

RHÉOSTAT A CYLINDRES COMBINATEURS

DE M. GARNIER,

INGÉNIEUR DE LA MARINE.

Le rhéostat à cylindres combinateurs de M. Garnier, qui figurait à l'Exposition internationale d'électricité de 1881, a pour but de former immédiatement et sans tâtonnements une résistance donnée au moyen de bobines de résistance étalonnées.

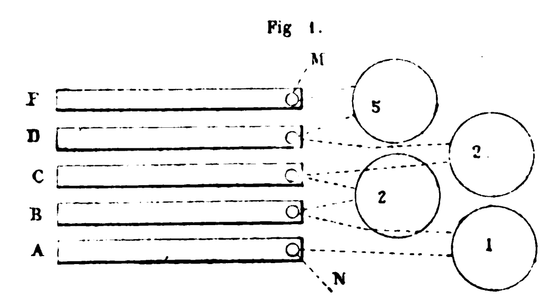
Les boîtes de résistance usuellement employées renferment des bobines qui sont des multiples d'une unité arbitraire, l'ohm par exemple, choisies de telle sorte qu'en groupant ensemble un certain nombre d'entre elles, on arrive à former une résistance quelconque comprise entre l'unité et un multiple suffisamment élevé de cette unité. Ainsi, avec les multiples employés depuis longtemps pour les mesures, 1, 2, 2, 5 — 10, 20, 20, 50 — 100, 200, 200, 500 —, on peut former un nombre entier quelconque, pourvu qu'il ne dépasse pas le double du dernier terme de la série. Mais si l'on forme assez rapidement

une résistance donnée, il est par contre difficile d'éviter les longueurs et les fausses manœuvres quand on veut obtenir une résistance égale à une résistance inconnue : cette opération est analogue à une pesée, et l'on sait combien il y a de perte de temps dans l'emploi de la balance et des poids marqués.

Avec le rhéostat à cylindres on peut former de suite une résistance arbitraire et ensuite la diminuer ou l'augmenter régulièrement par degrés correspondant à une unité décimale quelconque. Cet appareil comprend un certain nombre de cadrans, unités, dizaines et centaines par exemple, portant chacun onze divisions (de 0 à 10) devant lesquelles on fait mouvoir une aiguille. Chaque aiguille est montée sur l'axe d'un cylindre qui a pour effet, à chacune de ses positions, d'introduire des bobines choisies de telle sorte que leur ensemble forme précisément la résistance indiquée par l'aiguille. Le cylindre des unités est accompagné des bobines 1, 2, 2, 5. Celui des dizaines des bobines 10, 20, 20, 50, etc. Il suffit évidemment d'expliquer la construction et le fonctionnement d'un quelconque de ces cylindres.

Concevons les quatre bobines reliées comme l'indique

Fig 1.



la *fig.* 1, à cinq lames métalliques A, B, C, D, E; si ces lames restent isolées l'une de l'autre, le circuit MN com-

prendra la résistance de toutes les bobines, c'est-à-dire 10 ohms; si l'on réunit entre elles, par une communication métallique de résistance négligeable, les trois lames C, D et E, par exemple, on supprime du circuit MN les résistances 5 et 2, et il ne reste qu'une résistance 3; on peut ainsi, par un choix convenable des lames que l'on réunit directement, obtenir toutes les résistances de 0 à 10. Ces communications métalliques sont opérées par des bandes fixées suivant les génératrices du cylindre combinateur (*fig.* 2), dont le développement est représenté, *fig.* 3.

Fig 2.

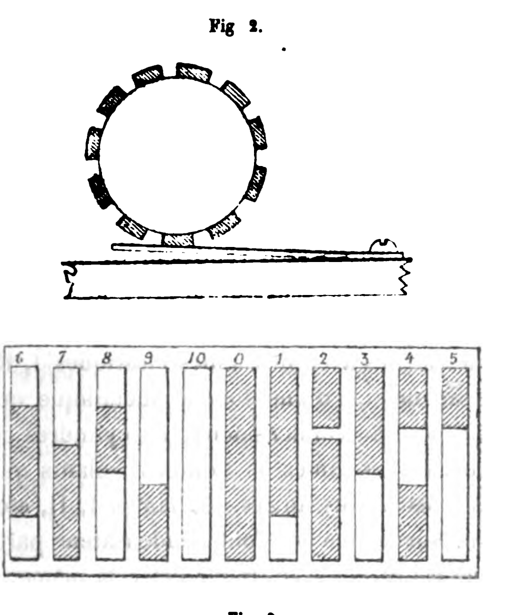


Fig. 3.

Les cinq lames de la *fig.* 1 sont formées de cinq ressorts qui appuient ensemble sur les génératrices du cylindre. On reconnaît facilement que les longueurs et les positions des bandes sont combinées pour introduire dans

le circuit des bobines dont la somme des résistances forme la série des nombres de 0 à 10. Le cylindre doit évidemment être fait en matière isolante, bois ou ébonite. Les lames A, B, C, D, E sont fixées par une extrémité et ont assez d'élasticité à leur bout libre pour permettre la rotation du cylindre et s'appliquer sur les bandes à chacune des onze positions qu'il peut occuper.

Les cylindres des dizaines et des centaines sont disposés de la même façon à côté de celui des unités, et les circuits MN des trois cylindres se font suite.

Les cylindres peuvent être placés dans une boîte servant de pont de Wheatstone, et munie à cet effet des branches de proportion.

Le même système de cylindres combinateurs s'applique également à la formation de condensateurs devant avoir une capacité électrique variable. Concevons une série de condensateurs dont les capacités mesurées avec une unité arbitraire soient représentées par les nombres 1, 2, 2, 5 — 10, 20, 20, 50, etc. — On réunit tous ensemble un des pôles de chacun d'eux et l'on fait communiquer les autres avec des lames élastiques I, II, III, IV placées au-dessus d'une touche métallique qui forme le second pôle du condensateur; les cylindres combinateurs portent des cames ou boutons isolants qui abaissent les unes ou les autres des lames I, II, etc. et les appuyent sur la touche. Tout condensateur partiel dont la touche est abaissée se trouve par cela même introduit dans le circuit et l'on obtient telle capacité qu'on veut au moyen de cames distribuées sur la circonférence du cylindre suivant les règles indiquées plus haut pour les cylindres du rhéostat.

TÉLÉGRAPHE ÉCRIVANT DE M. JORDERY

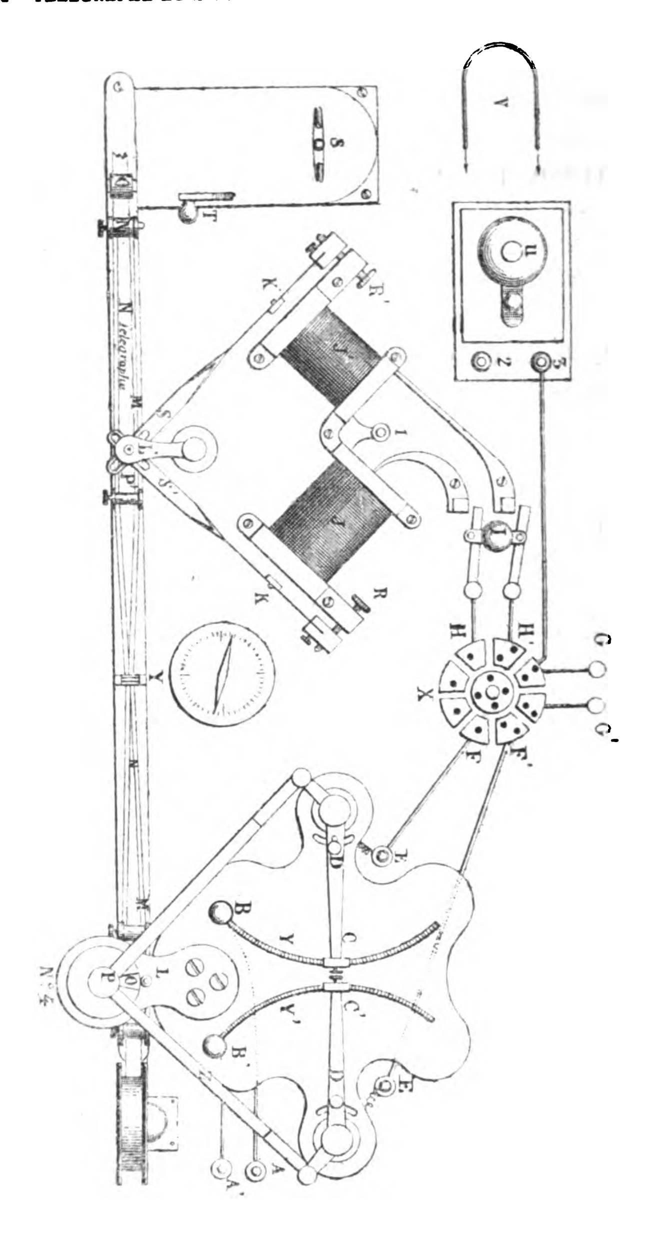
POUR

LA TRANSMISSION RAPIDE DES DÉPÊCHES EN ÉCRITURE COURANTE.

M. Jordery s'est proposé de résoudre le problème de la transmission de l'écriture ordinaire sur une bande de papier se déroulant d'un mouvement à peu près uniforme, comme dans l'appareil Morse. Il emploie à cet effet deux fils de ligne et à chacun des postes correspondants deux piles, un manipulateur et un récepteur. Son appareil figurait à l'Exposition universelle d'électricité de 1881 et fonctionnait régulièrement avec deux circuits locaux.

Piles. — Les deux piles ont un de leurs pôles à la terre; quant au second pôle, il est relié, pour l'une d'elles, à la borne A, et pour l'autre à la borne A' (voir la figure page 94). Toutes les piles en usage dans la télégraphie peuvent être utilisées; elles n'ont pas besoin d'être rigoureusement égales, mais leur force doit naturellement varier suivant la longueur et la résistance des fils de ligne.

Manipulateur. — Une baguette à poignée P, longue de 0m,15 environ, pivote sur sa base, laquelle est fixée dans le socle de l'appareil ; les mouvements de cette baguette sont limités par un cercle de cuivre horizontal n° 4, placé aux deux tiers de sa hauteur. L'amplitude des mouvements de chaque point de la baguette est proportionnelle


N télégraphe
N° 4

à la distance de ces points à la base fixe; elle porte un appendice O à l'extrémité duquel est pratiquée une petite ouverture circulaire qui reçoit la partie inférieure d'un tube de verre écrivant, L; le diamètre de cette petite ouverture et celui du tube sont égaux. Il résulte de cette disposition que tous les mouvements de la poignée P, tenue à la main, sont reproduits fidèlement, avec les dimensions de l'écriture ordinaire, par la base du tube de verre L, qui est rempli d'encre, sur une bande de papier N, qui se déroule avec une vitesse de $0^m,004$ environ par seconde. Cette bande, après avoir reçu enregistrés les signes dessinés par la poignée P, suit la règle de cuivre figurée à la base du dessin, se redresse, passe dans le guide-bande Y, se retourne et applique son autre face sur ladite règle par l'effet du petit cylindre mobile en verre P'; elle passe ensuite sous la pointe du tube L' du récepteur, identique au tube L du manipulateur, pour enregistrer ses mouvements. Sa position sur la règle est maintenue par le cylindre de bois N'; deux rouleaux O', qui la pincent, la tirent avec la vitesse déjà indiquée de $0^m,004$ par seconde. Les rouleaux O' sont mus par un mouvement d'horlogerie dont la marche est réglée par la tige T.

Les deux manivelles Z, Z', fixées par une de leurs extrémités sur la baguette verticale à poignée P, participent à tous les déplacements de cette dernière, chacune dans le sens de leurs directions. Ces mouvements sont transmis amplifiés aux roulettes de cuivre C, C', qui roulent sur les bandes rhéostatiques Y'. Le courant venant de la borne A est transmis à la tête du boulon B qui communique électriquement à la bande rhéostatique de gauche; le courant de la borne A' est transmis à la tête du boulon B' qui communique électriquement avec la

bande rhéostatique de droite. Ces deux courants, après avoir subi une diminution d'intensité proportionnelle à la distance des têtes de boulon B, B' aux roulettes C, C', passent en D, D', puis aux bornes E, E' pour se rendre aux contacts F, F' d'un commutateur. A l'aide de fils de communication, représentés en V, dont on place les bouts dans les trous figurés sur le commutateur X, les courants sont transmis aux bornes G, G' où aboutissent les deux fils de ligne, ou en H, H' si l'on veut mettre le récepteur en communication avec le manipulateur du même appareil.

Récepteur. — A gauche, sur le socle de l'appareil, sont fixés deux électro-aimants semblables J, J' disposés à angle droit; l'un des courants traverse J et l'autre J'. Deux armatures K, K', rivées à deux ressorts d'acier S, S', sont placées devant les électro-aimants à une distance de $0^m,005$ environ. Ces armatures, sous l'influence des courants, font fléchir les ressorts S, S' qui sont assez résistants pour ne pas être complètement entraînés. La flexion, qui est amplifiée à leurs extrémités mobiles, est communiquée à la partie inférieure d'un tube de verre L'; cette flexion étant variable comme les courants agissants, les mouvements du tube de verre L' sont la résultante graphique des courants combinés envoyés par le manipulateur. La manette en ivoire I met en communication les parties du commutateur H H' avec les électro-aimants J, J'; elle sert également à supprimer cette communication. La partie X du commutateur et la borne du récepteur n° 1 sont à la terre. La borne G est mise en communication métallique avec la borne n° 3 de la sonnerie U, à l'aide d'un fil de communication qu'on peut enlever à volonté. Les fils de communication, dont V est un modèle, ont leurs parties médianes isolées, leurs extrémités sont dé-

nudées et fendues, de plus elles forment ressort afin d'entrer, avec frottement, dans les trous du commutateur et des bornes. Les deux vis R, R′ règlent la force attractive des courants sur les armatures K, K′, et servent à harmoniser la flexion des ressorts S′, S′ par le rapprochement ou l'éloignement de ces armatures de leurs pôles attractifs. La clef S sert à remonter le mouvement d'horlogerie.

Théorie. — En déplaçant horizontalement la poignée P du manipulateur dans le sens de la manivelle Z, celle-ci se meut sur sa propre direction d'une quantité égale, sans que l'autre manivelle Z′ ait un mouvement sensible; la roulette métallique C s'avance vers B; le courant transmis sur la ligne ou dans l'électo-aimant J, si l'on travaille en local, augmente d'intensité par suite de la diminution de résistance du circuit; l'armature K se déplace, son déplacement est proportionnel à la force du courant, et il varie comme lui. Le tube de verre L′, obéissant au ressort qui porte l'armature K, suit le vide pratiqué dans l'autre ressort; cette direction imprimée au tube de verre, ainsi que le montre le dessin, est celle de la poignée P et du tube L: de plus l'amplitude du déplacement du tube L′ est proportionnelle à celui de la poignée P. Les choses se passent d'une façon identique pour le courant transmis pendant le mouvement du levier Z′. La poignée P, agissant à la fois sur les deux manivelles Z′, Z′, fait, en conséquence, imprimer aux ressorts S′ et S′ des mouvements correspondants, et ceux du tube L′, qui en sont les résultantes, sont semblables aux signes figurés par la poignée P; ces signes sont écrits directement par le tube de verre L′ du récepteur, qui laisse une trace sur la bande de papier.

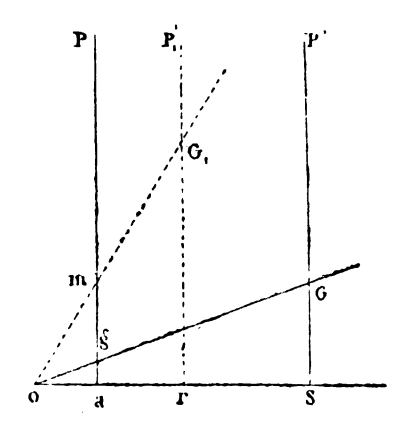
L'employé qui voudra faire écrire, par le récepteur de

son correspondant ou par celui de son propre appareil, un signe quelconque, n'aura qu'à saisir la poignée P, et à lui faire figurer les signes qu'il veut transmettre, comme s'il les écrivait sur place en grands caractères, pour qu'ils soient reproduits instantanément par le tube L de son manipulateur, et en même temps par le tube L' du récepteur avec lequel il communique. Il est toutefois nécessaire, dans la manipulation, de tenir compte du déplacement de la bande de papier N ; c'est une habitude qui s'acquiert rapidement.

LE SHUNTMETER DE M. CARDARELLI.

Cet instrument, imaginé par M. Cardarelli ingénieur des télégraphes italiens, a pour but de donner, par une simple manœuvre analogue à celle de la règle à calcul, le résultat des formules relatives aux courants dérivés, particulièrement dans le cas où le galvanomètre se trouve en dérivation. Nous ferons observer toutefois que la simplicité des calculs qu'on a à faire dans la pratique ne comporte pas, en général, l'emploi d'un instrument si peu compliqué et si précis qu'il soit.

Le shuntmeter se compose de quatre tiges graduées



OG, OS, *a*P et SP'. La tige *a*P est fixe et normale à la tige OS, et la distance O*a* est prise pour unité dans les graduations des règles. La tige SP' peut glisser le long de OS tout en restant parallèle à *a*P, quant à la tige OG, elle peut tourner autour du point O.

Si l'on amène d'abord ces tiges dans des positions telles que la longueur OG représente la résistance G du galvanomètre, et OS la résistance S de la dérivation établie entre les bobines, ou du shunt, les triangles semblables O*ag* et OSG donnent

$$\frac{Og}{Oa} = \frac{OG}{OS},$$

ou, puisque $Oa = 1$,

$$Og = \frac{OG}{OS}.$$

Le rapport de G à S est donné directement par la lecture de la longueur O*g* sur la règle OG.

Faisons maintenant tourner la tige OG autour de O jusqu'à ce que la longueur O*m* interceptée sur elle par la tige *a*P soit égale à $Og + Oa$, ou $Og + 1$; on aura

$$Om = Og + 1 = \frac{G}{S} + 1 = \frac{G + S}{S}.$$

Le nombre qui correspond à la longueur O*m* représente ce qu'on nomme le pouvoir multiplicateur du shunt, c'est-à-dire le coefficient par lequel on doit multiplier l'intensité du courant accusée par le galvanomètre pour avoir l'intensité totale du courant qui traverse le circuit.

En second lieu, le point G étant venu en G_1, faisons glisser la tige SP' jusqu'à la position $rG_1P'_1$. Les triangles semblables O*am* et OrG_1 donnent

$$\frac{Or}{Oa} = \frac{OG_1}{Om},$$

ou, en remplaçant OG_1 par la résistance G, O*m* par $\frac{G+S}{S}$ et en faisant $Oa = 1$

$$Or = \frac{G \times S}{G + S}.$$

Or représente donc la résultante, r, de l'ensemble des deux branches formées par le galvanomètre et sa dérivation.

Quant à la résistance de compensation, c'est-à-dire celle qu'il faudrait ajouter dans le circuit pour maintenir l'intensité constante malgré l'addition du shunt, elle est égale à

$$G - r$$

et est donnée par la différence des longueurs

$$OG_1 - Or.$$

Ainsi l'instrument donne sans calcul, par une simple lecture, le pouvoir multiplicateur $\frac{G+S}{S}$, la résistance résultante $\frac{GS}{G+S}$ et la résistance de compensation $G - r$.

S'il s'agissait au contraire de résoudre un problème inverse, par exemple de déterminer la résistance S du shunt à employer pour obtenir un pouvoir multiplicateur m, on aurait à suivre une marche inverse ; on orienterait la tige OG de telle sorte que la longueur interceptée par aP soit $Og = m - 1$, puis on placerait la tige SGP′ de telle sorte que la longueur OG soit égale à la résistance G du galvanomètre. On lirait alors OS qui représenterait S, c'est-à-dire la résistance cherchée.

ÉTUDE DES COURANTS DE CHARGE

ET DES COURANTS PERMANENTS

A L'AIDE D'UN GALVANOMÈTRE THOMSON.

Suite (*).

---

§ 7. — *De la sensibilité et de la rapidité des indications d'un galvanomètre.*

Je rappellerai ici quelques formules établies dans la première partie de cette étude.

Si I désigne l'intensité du courant constant ou variable qui traverse les bobines d'un galvanomètre Thomson, α la déviation angulaire du miroir, A, B, T, λ, m et β des constantes dépendant de la disposition de l'instrument, on a vu que l'équation générale du mouvement du miroir est

$$A\frac{d^2\alpha}{dt^2} + 2B\frac{d\alpha}{dt} + T\alpha = \lambda I$$

ou

$$(1) \qquad \frac{d^2\alpha}{dt^2} + 2\beta\frac{d\alpha}{dt} + m^2\alpha = \frac{\lambda}{A} I.$$

En second lieu, lorsque le système est au repos sous l'influence d'un courant permanent, la déviation angulaire fixe δ est égale à

$$(6) \qquad \delta = \frac{\lambda}{Am^2} I.$$

(*) Voir le numéro de janvier-février 1882 des *Annales télégraphiques*.

Enfin lorsque le système oscille sous l'influence du courant permanent I avant d'arriver à l'état d'équilibre, l'amplitude d'une oscillation quelconque, de la $n^{ème}$ par exemple, est donnée par l'équation

$$\alpha_n = \delta(1 \pm e^{-n\beta\theta}), \tag{9}$$

θ désignant la durée d'une oscillation simple et étant égal à

$$\theta = \frac{\pi}{\sqrt{m^2 - \beta^2}}.$$

Ces diverses formules, qui ont été établies pour le cas d'un galvanomètre Thomson à miroir, s'appliquent également à tous les galvanomètres à miroir ou à aiguille dans lesquels on peut considérer les déviations comme proportionnelles aux intensités. A représentera pour l'un quelconque d'entre eux le moment d'inertie du système oscillant dont fait partie l'aiguille ou le miroir, 2B le couple des forces qui tendent à ralentir le mouvement proportionnellement à la vitesse (résistance de l'air, courants induits, etc.), T le couple des forces antagonistes qui font équilibre à l'intensité du courant, λ le couple dû à l'action du courant sur le système indicateur lorsque l'intensité est égale à 1.

Quel que soit le galvanomètre employé, au point de vue de l'étude des courants on a deux choses à considérer : 1° la sensibilité de l'instrument, 2° la rapidité de ses indications.

Or, pour une même intensité I, l'équation (6) montre que les déviations angulaires seront proportionnelles à $\frac{\lambda}{Am^2} = \frac{\lambda}{T}$. Donc si l'on n'a en vue que la sensibilité de l'instrument, il y a tout intérêt à augmenter λ et à diminuer T autant que possible, c'est-à-dire à renforcer

d'une part le magnétisme des masses sur lesquelles agit le courant ou qui agissent sur le courant, suivant les cas, et d'autre part à rendre la force antagoniste aussi faible que possible.

Si au contraire on tient surtout à avoir des indications rapides, c'est-à-dire si l'on veut que les oscillations s'éteignent très rapidement, il faut, ainsi qu'on l'a vu plus haut (§ 2), que β ou $\frac{B}{A}$ soit très grand, ce qu'on obtiendra, d'une part, en réduisant autant que possible le moment d'inertie A du système mobile, d'autre part, en développant les résistances qui s'opposent au mouvement de ce système. Parmi ces résistances, celle de l'air ne saurait atteindre une valeur considérable; mais on pourra accroître beaucoup l'influence des courants induits par l'addition de masses métalliques près du système mobile.

En combinant les deux conditions précédentes, on voit que l'on aura avantage à rendre les coefficients λ et B le plus grands et A et T le plus petits possible. Ces conditions ne sont pas toujours compatibles entre elles. En cherchant à obtenir des indications rapides on peut être amené, comme on le verra plus loin, à diminuer la sensibilité, et inversement.

Les galvanomètres astatiques et à miroir de Thomson sont ceux qui présentent la plus grande sensibilité atteinte jusqu'ici. Ainsi on peut obtenir une déviation angulaire correspondant à une division de l'échelle sous l'action d'un courant variant de 1/200.000.000ᵉ à 1/1.000.000.000ᵉ d'Ampère. Certains galvanomètres, avec des miroirs à grande distance focale, donnent même une division de la graduation sous l'action d'un courant de 1/100.000.000.000ᵉ d'Ampère. Par contre, les indications sont peu rapides. La durée des oscillations du mi-

roir, avant qu'il arrive sensiblement au repos, peut varier de 25 à 40 et même 50 secondes. Mais cet inconvénient est minime lorsqu'il s'agit de mesures de précision, telles que l'essai électrique d'un conducteur télégraphique, et notamment de son isolement.

On a construit des galvanomètres de forme et de dimensions variables, moins coûteux et plus transportables que les Thomson, et destinés néanmoins à des mesures d'une certaine précision. La sensibilité de ces instruments est extrêmement variable. Ils peuvent accuser des courants variant de 1/20.000.000e à 1/1.000.000e d'Ampère. Il existe notamment des galvanomètres horizontaux astatiques ayant la forme et les dimensions d'une boussole ordinaire et donnant une déviation de 1° sous l'action d'une intensité de courant égale à 1/1.000.000e.

Quant à la rapidité d'indication de ces instruments, elle n'est pas plus grande que celle des Thomson. Je dois signaler toutefois les galvanomètres de M. Marcel Deprez qui, quoique ne donnant pas des déviations proportionnelles aux intensités sur toute l'étendue de la graduation, peuvent rentrer dans cette étude. Ces instruments, tout en offrant une assez grande sensibilité pour la plupart des usages (le plus sensible accuserait nettement, d'après M. Deprez, 1/10.000.000e d'Ampère), fournissent des indications incomparablement plus rapides que les autres galvanomètres. A chaque émission ou variation de courant, l'aiguille ou le miroir — suivant le type d'instrument — décrivent des oscillations d'une durée de 1 seconde à 1 seconde et demie seulement avant d'atteindre leur position d'équilibre. Cette disposition est très avantageuse dans certains cas, notamment pour les mesures électriques relatives aux machines magnéto ou dynamo-électriques.

§ 8. — *Enregistrement continu d'un courant d'intensité variable.*

Si rapides que soient les indications d'un galvanomètre, même de celui de M. Deprez, elles ne sauraient être considérées comme instantanées ; et, si au lieu d'une série de mesures distinctes à effectuer, on avait à enregistrer d'une manière continue l'intensité d'un courant variable, cet instrument ne pourrait remplir le but d'une manière rigoureuse. Cependant lorsque la variation de l'intensité n'est pas trop brusque, l'aiguille ou le miroir se mouvant très lentement, on peut considérer à un instant quelconque la déviation angulaire comme représentant assez exactement l'intensité actuelle du courant. C'est ainsi que dans la mesure de l'isolement d'une ligne télégraphique souterraine ou sous-marine, une extrémité de la ligne étant isolée et l'autre reliée à la pile, on observe de minute en minute le courant de perte. Dans ce cas, les déviations angulaires variant lentement sont très sensiblement proportionnelles aux intensités.

D'une manière générale on peut se rendre compte, d'après l'équation (1), dans quelle limite la proportionnalité des indications continues de l'instrument aux intensités peut être admise. En l'admettant, en effet, on remplace l'équation (1) par

$$m^2\alpha = \frac{\lambda}{A} I;$$

c'est-à-dire que l'on suppose nulle la vitesse $\frac{d\alpha}{dt}$ et l'oscillation $\frac{d^2\alpha}{dt^2}$. En négligeant les deux premiers termes du premier membre, on commet donc dans la mesure de

l'intensité I une erreur relative égale à

$$(21) \qquad \varepsilon = \frac{\dfrac{d^2\alpha}{dt^2} + 2\beta \dfrac{d\alpha}{dt}}{m^2\alpha}.$$

Au lieu des angles α eux-mêmes, on peut prendre, comme toujours, les divisions de l'échelle qui leur sont proportionnelles. Si, par exemple, la vitesse $\frac{d\alpha}{dt}$ variant très peu, et par suite l'accélération $\frac{d^2\alpha}{dt^2}$ étant négligeable, on a actuellement $\alpha = 50$ et $\frac{d\alpha}{dt} = \frac{1}{6}$ (variation de 10 divisions en une minute ou 60 secondes), avec $\beta = \frac{1}{6}$ et $m = \frac{4}{5}$, on trouve $\varepsilon = \dfrac{2 \times \frac{1}{6} \times \frac{1}{6}}{\frac{16}{25} \times 50} = \frac{1}{576}$, erreur absolument négligeable.

Dans le cas où l'intensité varie rapidement, la proportionnalité admise ci-dessus entre l'intensité et l'indication galvanométrique n'est plus admissible. La formule précédente montre que l'erreur ε est d'autant plus grande que la vitesse et l'accélération du système indicateur sont plus grandes et que la déviation α est plus faible. En particulier, lorsque l'aiguille passe par le zéro en continuant à se déplacer au delà, on trouve pour ε une valeur infinie.

A la rigueur, on peut concevoir la possibilité de déduire la loi des variations de l'intensité de la loi des variations de la déviation α. Supposons que l'on ait enregistré et représenté graphiquement la variation de α; à cet effet, un certain nombre d'observations assez rapprochées permettront de tracer une courbe continue.

On a

$$I = \frac{A}{\lambda}\left(m^2\alpha + 2\beta\frac{d\alpha}{dt} + \frac{d^2\alpha}{dt^2}\right).$$

A un instant t quelconque, la valeur de α sera donnée par l'ordonnée de la courbe et celle de $\frac{d\alpha}{dt}$ par le coefficient angulaire de la tangente. Quant à $\frac{d^2\alpha}{dt^2}$, on obtiendra sa valeur par la détermination du rayon de courbure. On aura ainsi la valeur de I à un instant quelconque pourvu que les coefficients β, m et $\frac{\lambda}{A}$ aient été préalablement déterminés.

Mais ce procédé extrême ne serait guère applicable à cause de la complication des calculs et des tracés géométriques et du peu de précision qui résulterait probablement de cette complication même. Aussi, quoiqu'il n'existe pas actuellement d'instrument pouvant indiquer directement et d'une manière continue l'intensité d'un courant variable et que par conséquent la question n'offre ici qu'un intérêt théorique, je vais chercher quelles seraient les conditions à réaliser dans un appareil galvanométrique pour que l'indicateur — aiguille ou miroir — puisse suivre les variations d'intensité avec un retard aussi faible que l'on veut : 1/10 de seconde, par exemple. La solution de cette question sera donnée par celle des deux problèmes suivants :

1° Dans un galvanomètre dont l'indicateur est primitivement en repos au zéro, on envoie un courant qui tend à produire une déviation permanente δ. Quelles doivent être les valeurs des coefficients m et β pour que la durée θ de la première oscillation de l'indicateur soit égale à $\frac{1}{M}$ et que l'amplitude α_1 de cette première oscillation

ne diffère de δ que d'une fraction $\frac{1}{N}$, M et N étant des nombres quelconques?

On n'aura pour trouver m et β qu'à poser les deux équations

$$\theta = \frac{\pi}{\sqrt{m^2 - \beta^2}} = \frac{1}{M}$$

$$\alpha_1 = \delta(1 + e^{-\beta\theta}) = \delta\left(1 + \frac{1}{N}\right)$$

On tire de là

$$\beta = M \cdot LN \tag{22}$$

$$m = M \cdot LN \sqrt{1 + \frac{\pi^2}{(LN)^2}}. \tag{23}$$

Si, par exemple, on veut que la durée de la première oscillation soit de 1/10 de seconde et que l'amplitude α_1 ne diffère de l'indication δ que de 1/100, on fera $M = 10$ et $N = 100$, et l'on en déduira

$$\beta = 46$$
$$m = 55,6.$$

D'une manière générale, β et m devront être d'autant plus grands que les valenrs imposées pour M et N seront elles-mêmes plus graudes;

2° L'indicateur galvanométrique étant en mouvement sous l'action d'un courant variable, dans quelles conditions pourra-t-on regarder, avec une approximation donnée, les déviations comme proportionnelles aux intensités?

Si l'on veut que l'erreur relative que l'on commet en considérant α comme proportionnel I ne dépasse pas une certaine valeur très faible ε, en se reportant à la formule (21), on devra avoir

$$\frac{\frac{d^2\alpha}{dt^2} + 2\beta\frac{d\alpha}{dt}}{m^2\alpha} \leqq \varepsilon.$$

D'ailleurs, cette condition étant satisfaite, on peut, dans les mêmes limites d'approximation, supposer α proportionnel à I, la vitesse angulaire $\frac{d\alpha}{dt}$ proportionnelle à la vitesse $\frac{dI}{dt}$ de variation de l'intensité et l'accélération $\frac{d^2\alpha}{dt}$ proportionnelle à $\frac{d^2I}{dt^2}$. L'inégalité précédente peut alors s'écrire

$$(24) \qquad \frac{\frac{d^2I}{dt^2} + 2\beta\frac{dI}{dt}}{m^2 I} \leqq \varepsilon.$$

Pour une même loi de variation I avec divers instruments, le premier membre de cette inégalité sera d'autant plus petit et, par suite, l'approximation cherchée d'autant plus grande que la valeur de β sera plus faible et celle de m plus considérable.

Supposons, par exemple, que la graduation comportant 200 divisions de chaque côté du zéro, la variation du courant soit telle que l'indicateur parcourre cette amplitude de 200° en une demi-seconde avec une vitesse à peu près constante. On pourra supprimer le terme en $\frac{d^2I}{dt^2}$ et remplacer $\frac{dI}{dt}$ par la vitesse moyenne $\frac{200^\circ}{0^s,5} = 400$. Si en outre on considère l'indicateur au moment où il marque 50°, l'approximation obtenue dans ce cas est représentée par $\frac{2\beta \times 400}{m^2 \times 50} = \frac{16\beta}{m^2}$. Pour un instrument dans lequel on aurait $\beta = 46$ et $m = 55,6$, valeurs calculées dans un exemple précédent, on trouverait

$$\frac{16\beta}{m^2} = 0,24,$$

approximation tout à fait insuffisante. Il faudrait pren-

dre β beaucoup plus grand ou m beaucoup plus petit pour satisfaire à la question.

D'ailleurs, si l'on compare les formules (22) et (23) avec la formule (24) qui répond à un point de vue différent, il semble qu'il y ait contradiction, au moins en partie, entre les résultats qu'elles fournissent. Ainsi les deux premières indiquent qu'il y a intérêt à prendre pour β et m de grandes valeurs, tandis que la dernière semble indiquer qu'il y a intérêt à prendre β très petit et m très grand. Il suffit, en réalité, pour concilier les trois formules, de prendre pour m une valeur considérable et pour β une valeur très grande aussi, mais petite relativement à m^2. Comme on a $m^2 = \frac{T}{A}$ et $\beta = \frac{B}{A}$, on devra prendre A aussi petit que possible, T aussi grand que possible et B très grand par rapport à A, mais très petit par rapport à T.

Enfin, si l'on se place au point de vue de la sensibilité de l'appareil, on a vu au § 7 que le coefficient $\frac{\lambda}{T}$ doit être le plus grand possible. En combinant ce résultat avec les précédents, on trouve finalement que les conditions les meilleures de sensibilité et de rapidité d'indication pour un galvanomètre sont : que le moment d'inertie A du système indicateur soit aussi minime que possible ; que *le couple* B, dû notamment aux courants induits par le système, soit beaucoup plus grand que A ; que *le couple* T, dû aux forces antagonistes, soit notablement plus grand que B, par exemple, 4 ou 5 fois plus grand ; enfin que la valeur du moment magnétique λ soit aussi grand que possible.

Pour satisfaire à cette dernière condition, on formera le cadre du galvanomètre d'un nombre de spires aussi

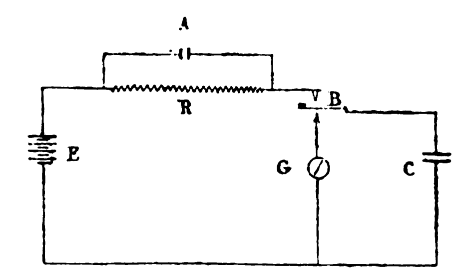
grand que possible, et on développera énergiquement le magnétisme des masses sur lesquelles agit le cadre si celui-ci est fixe, ou qui agissent sur lui s'il est mobile. Il est vrai qu'en même temps on tendra à augmenter le moment d'inertie A qui, comme on l'a vu, doit être le plus faible possible. On aura donc à tenir compte à la fois de plusieurs conditions qui ne sont pas toujours compatibles, et c'est par des tâtonnements que l'on pourra arriver à la meilleure disposition d'appareil. Entre autres dispositions, celle qui consiste à rendre le cadre mobile, et qui a été appliquée par M. Deprez, paraît devoir se prêter le mieux dans la plupart des cas aux conditions énoncées plus haut. Elle présente en outre l'avantage d'être plus simple et moins coûteuse.

Il serait peut-être possible d'arriver à construire un galvanomètre à indications aussi rapides que celles du téléphone en modifiant ce dernier instrument qui, tel qu'il est, est un excellent galvanoscope, mais ne peut fournir une mesure de l'intensité des courants. Il est vrai qu'en recherchant la rapidité, on est forcément amené à sacrifier en partie la sensibilité, mais on pourrait remédier à cet inconvénient en adaptant à la plaque vibrante un miroir à long foyer par un système qui donnerait des déviations angulaires très amplifiées.

§ 9. — *Mesure des grandes résistances par la charge d'un condensateur.*

Je vais développer ici, quoiqu'elle ne se rapporte pas directement au titre de cet article, une application de la ormule (15), démontrée dans le § 5 (voir le numéro de janvier-février 1882), à la mesure des grandes résistances.

Lorsqu'on charge un condensateur de capacité C et de résistance intérieure ρ à travers une résistance extérieure R, la force électromotrice de la pile étant E (fig. ci-contre), au bout du temps t après la fermeture du cir-



cuit la charge Q du condensateur est donnée par la formule

$$Q = Q_0 \frac{S}{R}\left(1 - e^{-\frac{t}{CS}}\right), \tag{15}$$

en posant

$$Q_0 = CE$$

et

$$S = \frac{R\rho}{R + \rho}.$$

Si, à ce moment on ouvre le circuit, la charge du condensateur restera égale à Q, et pour avoir la mesure de cette quantité Q on n'aura qu'à la décharger à travers le galvanomètre G. Soit δ la déviation obtenue, et soit en outre δ_0 la déviation que l'on obtiendrait si, au lieu de la charge incomplète Q, on avait Q_0. Les déviations δ et δ_0 étant proportionnelles à Q et à Q_0, on peut écrire

$$\delta = \delta_0 \frac{S}{R}\left(1 - e^{-\frac{t}{CS}}\right),$$

Si le temps t est assez petit, on peut développer $e^{-\frac{t}{CS}}$ en série en se bornant aux trois ou même aux deux pre-

miers termes. On a alors

$$\delta = \delta_0 \frac{S}{R}\left(\frac{t}{CS} - \frac{1}{2}\frac{t^2}{C^2S^2}\right)$$

ou

(25) $$\delta = \delta_0 \frac{t}{CR}\left(1 - \frac{1}{2}\frac{t}{CS}\right),$$

ou encore, si $\frac{t}{2CS}$ est négligeable par rapport 1

$$\delta = \delta_0 \frac{t}{CR}.$$

On tire de là

$$R = \frac{t}{C} \times \frac{\delta_0}{\delta}.$$

Dans cette formule t est exprimé en secondes, C en farads et R en ohms, ou C en microfarads et R en megohms.

Si R ne dépasse pas quelques megohms, 15, 20 ou 30, par exemple, le terme de correction $\frac{1}{2}\cdot\frac{t}{CS}$ fourni par la formule (25) n'est pas négligeable en général. Dans ce cas d'ailleurs, comme ρ est toujours considérable, on peut poser $S = R$, et l'on a

$$\delta = \delta_0 \frac{t}{CR}\left(1 - \frac{t}{2CR}\right).$$

Pour une première approximation, on peut écrire

$$\frac{\delta}{\delta_0} = \frac{t}{CR}.$$

En remplaçant dans la parenthèse $\frac{t}{2CR}$ par sa valeur approchée $\frac{\delta}{2\delta_0}$, on aura

$$\delta = \delta_0 \frac{t}{CR}\left(1 - \frac{\delta}{2\delta_0}\right) = \frac{t}{CR}\left(\delta_0 - \frac{\delta}{2}\right),$$

d'où

$$R = \frac{t}{C}\left(\frac{\delta_0}{\delta} - \frac{1}{2}\right).$$

Soit, par exemple, $C = 1^{mf}$, $\delta_0 = 4500$ (avec une pile de 10 éléments), et $\delta = 225$ pour $t = 2^{sec.}$ On aura

$$R = \frac{2}{1}\left(\frac{4.500}{225} - \frac{1}{2}\right) = 39 \text{ megohms.}$$

Lorsqu'il s'agit de mesurer une très grande résistance, celle d'une soudure de câble souterrain ou sous-marin, par exemple, ou l'isolement d'un échantillon de quelques mètres de câble, on peut négliger le terme de correction et employer simplement la formule

$$R = \frac{t}{C} \cdot \frac{\delta_0}{\delta}.$$

Cette formule, il est vrai, ne tient pas compte d'un élément important, savoir la charge absorbée pendant le passage du courant par la masse de la substance dont on calcule la résistance. On ne doit donc la considérer que comme approchée au même titre que les formules ordinaires, qui ne tiennent pas compte davantage de l'élément en question.

VASCHY.

APPAREILS

POUR

LE RAPPEL DES BUREAUX TÉLÉGRAPHIQUES

DESSERVIS SUR UN MÊME FIL CONDUCTEUR.

On a depuis longtemps cherché les moyens de desservir plusieurs bureaux secondaires par un seul fil et de pouvoir rappeler à volonté l'un quelconque de ces bureaux sans déranger les autres.

En France, chaque fil dessert au plus deux postes; à chacun d'eux on place un appareil à armature aimantée, qui ne fonctionne que lorsque le courant a une direction déterminée et connue; mais le problème peut être résolu d'une manière générale, et des solutions très diverses ont été proposées. Plusieurs de ces solutions figuraient à l'Exposition universelle d'électricité de 1881 : celles de M. Callaud (France), de M. Daussin (Belgique), de MM. Witwer et Wetzer (Allemagne), de M. Rothen (Suisse) et de de Coincy (France). Nous allons les indiquer sommairement.

SYSTÈME DE M. CALLAUD.

Le système de M. Callaud comprend à chaque poste un manipulateur et un récepteur.

Le manipulateur sert seulement à envoyer une série de courants de courte durée suivis d'un courant prolongé

qui est reçu seulement par le poste que l'on veut appeler.

Le récepteur a pour fonction : 1° d'établir une communication directe avec la station suivante, si le courant ne dure qu'un instant très court; 2° de faire fonctionner une sonnerie en fermant un circuit local, si le courant dure un certain temps.

Il se compose de deux électro-aimants, de deux plaques indicatrices actionnées par les armatures des électro-aimants, et d'un mouvement d'horlogerie remettant automatiquement, au bout d'un certain temps, les plaques en position, lorsqu'elles ont été déclenchées.

Chacun des électro-aimants est en relation avec un des côtés de la ligne d'une part et de l'autre avec la terre.

Quand un des électro-aimants du récepteur reçoit un courant, l'armature est attirée et laisse tomber, d'un seul cran, la plaque indicatrice qui ferme le circuit local de la sonnerie. Lorsque le courant est interrompu, la plaque tombe d'un second cran et établit la communination directe avec la prolongation de la ligne.

Un mouvement d'horlogerie est déclenché au premier mouvement de l'armature et ramène la plaque indicatrice à sa position de repos au bout d'un certain temps, supérieur à la durée des transmissions télégraphiques ordinaires, quatre à cinq minutes.

Si donc un courant de très courte durée a traversé l'appareil, le circuit local n'aura été fermé qu'un instant à peine suffisant pour faire marcher la sonnerie, et la communication directe sera établie avec le second poste. Si un second courant de durée très courte est envoyé, la communication sera établie avec le troisième et ainsi de suite.

Si au contraire le courant persiste, l'armature reste

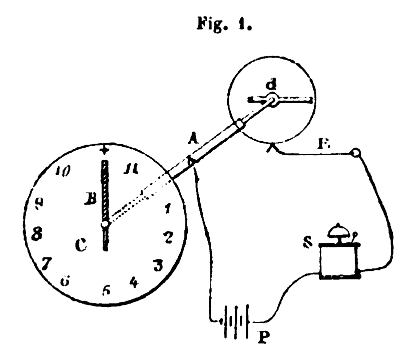
attirée et fait fonctionner la sonnerie pendant toute la durée de l'émission.

Il suffit donc pour rappeler un poste quelconque, le n^e par exemple, d'envoyer $n-1$ courants de courte durée, et un n^e, qu'on prolonge jusqu'à ce que l'employé du poste appelé vienne enlever la communication avec la sonnerie et faire connaître qu'il est prêt à recevoir.

SYSTÈME DE M. DAUSSIN.

Cet appareil se compose essentiellement d'un axe A (*fig.* 1) portant une aiguille B indicatrice d'un cadran, et

Fig. 1.



une tige *d* destinée à fermer, par son contact avec un ressort E, le circuit d'une sonnerie trembleuse.

Le cadran porte une série de chiffres représentant les numéros des postes de la section. L'appareil est fait pour une ligne de trois à dix postes, mais en augmentant le nombre des divisions du cadran, on peut l'appliquer à un plus grand nombre de bureaux.

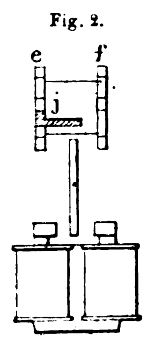
Dans chaque poste, la tige *d* occupe une position variable par rapport à l'aiguille B; elle est fixée de façon que le contact avec le ressort E s'établisse quand l'aiguille du

cadran se trouve en face du numéro représentant le poste considéré.

Tous les rappels sont montés d'une manière identique. A l'état de repos ils sont tous embrochés sur la ligne.

Le rappel fonctionne par suite de courants alternativement positifs et négatifs qui agissent au moyen d'un électro-aimant sur une armature polarisée par un aimant. Grâce à une roue d'échappement analogue à celle du télégraphe à cadran ordinaire, on peut donc amener l'aiguille sur un numéro quelconque.

Fig. 2.

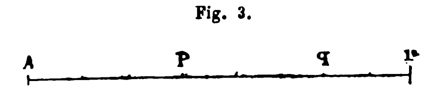


Si aucun courant n'est envoyé sur la ligne, l'armature, au moyen d'un ressort, se tient entre deux roues solidaires *e* et *f* (*fig.* 2); une dent d'arrêt vient la rencontrer, et la roue s'arrête. Cette position de repos correspond au cas où l'aiguille est sur la croix. La remise à la croix est donc automatique et les appareils sont toujours d'accord.

Voici comment s'emploie ce rappel :

Supposons par exemple que le poste *p* (*fig.* 3) veuille

Fig. 3.



correspondre avec le poste *q* : *p* envoie sur la ligne du côté de *q* une série de courants inversés jusqu'à ce que sa propre aiguille arrive sur le numéro qui correspond à *q*, et alors il s'arrête. En même temps, tous les appareils de cette partie de la ligne, jusqu'à l'extrémité *r*, ont fonctionné de la même manière, et les aiguilles sont arrêtées sur *q*. Mais alors le circuit local de la sonnerie est fermé au poste *q*, et la trembleuse se fait entendre;

dans les postes *p...q*—1, la tige *d* (*fig.* 1) a bien été un instant en contact avec le ressort E; mais ce court instant est insuffisant pour faire marcher la sonnerie trembleuse.

Le poste *q*, appelé, appuie sur un petit manipulateur qui interrompt le courant et, dans tous les postes, l'aiguille revient à la croix. Informé par cette remise à la croix de la présence de l'agent du poste *q*, l'agent de *p* amène de nouveau son aiguille sur le n° *p*, et indique ainsi qu'il est au poste *q*.

On met la ligne sur le morse, et l'on communique, mais les deux postes manipulent avec des pôles de nom contraire pour que les courants parcourent toujours la ligne dans le même sens. Ce sens est tel que l'armature polarisée s'appuie contre la dent d'arrêt dans les stations intermédiaires. L'aiguille dans ces stations ne peut donc être mise en mouvement, puisqu'il faut un courant de sens contraire pour produire le premier déclenchement.

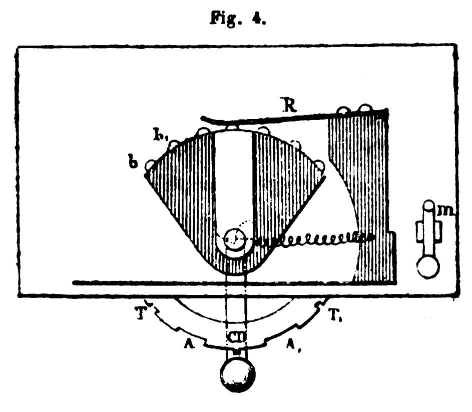
Pour faciliter ces manœuvres, le rappel porte à sa partie inférieure, outre le manipulateur *m* (*fig.* 4), un commutateur à manette.

Cet instrument permet, par un simple déplacement de la manette, d'embrocher le rappel dans le circuit, d'appeler un poste situé à droite ou à gauche (A, A_1), et de mettre la ligne sur le morse (T, T_1).

Pour appeler un poste à droite, par exemple, on porte la manette dans A_1, et on la fait successivement glisser d'une extrémité à l'autre de l'entaille, jusqu'à ce que l'aiguille arrive sur le numéro correspondant. Les contacts sur l'extrémité A ou A_1 de l'entaille correspondent toujours aux signaux 2, 4... et les contacts sur l'autre extrémité, à 1, 3...

Revenons à l'exemple précédent pour indiquer comment la ligne est mise sur le morse.

Fig. 4.



p vient d'envoyer son numéro au poste *q*; *q* rappelle alors à la croix, et met la manette sur T, *p* met la sienne sur T_1; par ce fait, les sections A*p* et *rq* sont à la terre; *p* et *q* ont la ligne sur leur morse, et prennent la pile à des pôles de nom contraire.

Ces résultats sont obtenus de la manière suivante :

La manette est fixée à un bloc de bois portant des rangées de boutons métalliques en communication avec les différentes bornes de l'appareil. La rangée de ressorts R (*fig.* 4), portant sur telle ou telle rangée de boutons *b*, établit tel ou tel genre de communications.

SYSTÈME DE MM. WITWER ET WETZER.

Le système de MM. Witwer et Wetzer comprend pour chaque bureau un mouvement d'horlogerie, un électro-aimant de ligne, une sonnerie et une pile locale.

Une des roues du mouvement d'horlogerie, qui fonctionne constamment, fait une révolution par minute : au-

dessus de cette roue, dans le même plan de rotation et à l'une des extrémités d'un levier supportant d'autre part l'armature de l'électro-aimant, est disposée une roue semblable, mais qui, dans la position de l'armature au repos, n'a aucune relation avec le mécanisme d'horlogerie. Quand le courant passe, au contraire, l'armature entraîne le levier et fait engrener les deux roues. Le courant de ligne cessant, l'armature sollicitée par un ressort antagoniste revient au repos et, par suite, les deux roues se séparent de nouveau : celle du mécanisme continue son mouvement et celle du levier est ramenée par un petit contrepoids fixé à un fil qui s'enroule sur un axe pendant sa rotation.

Une aiguille, rivée au même axe, indique sur un cadran, fixé au levier, la position de cette roue par rapport à son point de départ. Une goupille est placée sur la roue du levier, près de sa circonférence parallèlement à son axe. Une pièce métallique, fixée au socle de l'appareil et recourbée à sa partie supérieure, est disposée de façon que la goupille ne peut la rencontrer que si ces deux pièces sont en regard au moment où le levier reprend sa position de repos. Le contact de ces deux pièces ferme un circuit comprenant la pile locale et la sonnerie. L'angle formé par les deux rayons passant par la goupille d'une part et la verticale d'autre part diffère dans chacun des appareils placés sur un même fil; des divisions, marquées sur le cadran parcouru par l'aiguille et fixé à l'axe de la roue du levier, correspondent à ces angles. L'appareil du bureau qui appelle fait partie du circuit. Lorsqu'on envoie le courant, toutes les armatures étant attirées, les roues des leviers commencent leur mouvement de rotation ; après cinq secondes par exemple la goupille du premier bureau, puis après dix secondes

celle du second et ainsi de suite passeront successivement en regard de la pièce de contact. L'aiguille du cadran du poste transmetteur indiquant cette position, on voit qu'il suffit de rompre le circuit au moment où l'aiguille passe sur une de ces divisions pour que tous les leviers revenant au repos la goupille du bureau indiqué par le cadran soit la seule qui rencontre la pièce de contact et fasse par conséquent fonctionner la sonnerie qui ne s'arrête que quand l'employé de ce bureau, au moyen d'un bouton disposé à cet effet, ramène la roue à sa position de départ.

Il est essentiel que la marche de tous les mouvements d'horlogerie soit uniforme, pourtant la régularité n'a pas besoin d'être absolue, les roues des leviers partant, à chaque émission, d'un point déterminé les erreurs ne s'ajoutent pas; en donnant une certaine superficie aux pièces de contact, il est facile d'obtenir, sous ce rapport, un bon fonctionnement de l'appareil.

SYSTÈME DE M. ROTHEN.

Dans le système de M. Rothen, le courant venant de la ligne traverse dans chaque poste un récepteur Morse ordinaire et un relais polarisé. Le récepteur Morse ferme à chaque mouvement de son armature un circuit local qui, en agissant sur un troisième électro-aimant, fait tourner d'un angle déterminé un doigt dont la position est différente pour chaque bureau; le circuit local est d'ailleurs complété par l'armature et le butoir de repos du relais polarisé qui ne bouge pas pendant le passage de ces courants. Lorsqu'un nombre convenable d'émissions a été envoyé, le doigt vient toucher un contact fixe et établit une communication de la sonnerie avec la pile, mais cette communication a lieu par l'intermédiaire de

l'armature du relais polarisé et le butoir qu'elle vient toucher lorsqu'elle se meut; pour fermer ce circuit, il faut donc, lorsque le doigt a été amené au contact de la pièce fixe, intervertir le sens du courant.

Le poste appelé répond en envoyant des courants de sens convenable pour ne pas faire marcher les relais polarisés des autres bureaux, et en nombre tel que les doigts des appareils des divers postes soient ramenés à leur position normale; puis la transmission a lieu, mais en employant le sens du courant qui agit sur le relais polarisé, de façon que tous les doigts des appareils intermédiaires restent au repos.

SYSTÈME DE M. DE COINCY.

Le système de M. de Coincy (France) repose sur la transmission par l'électricité des vibrations d'une lame élastique dont le mouvement est entretenu à chaque oscillation par un électro-aimant et une pile locale. Cette lame, en venant toucher un contact fixe, envoie sur la ligne une série de courants qui se suivent régulièrement et traversent dans chacun des postes un électro-aimant spécial. Une lame vibrante disposée comme celle du poste de départ est mise en mouvement par cet électro-aimant, mais ses vibrations n'acquièrent une certaine amplitude, en s'ajoutant, que si les deux lames sont d'accord; elle ferme alors le circuit d'une pile locale qui produit l'appel.

Dans chacun des postes qu'on peut avoir à rappeler est disposée une lame dont les vibrations correspondent à une note spéciale, et au bureau d'où doivent partir les appels une lame dont on fait varier la longueur d'oscillation suivant celui des postes auquel on veut transmettre.

EXPÉRIENCES

FAITES

SUR UNE PILE SECONDAIRE DE M. FAURE (*)

RAPPORT DE M. TRESCA.

Cette expérience a été faite au Conservatoire des arts et métiers, pour compléter celles que les mêmes observateurs avaient exécutées dans la dernière période de l'Exposition d'électricité; elle a eu lieu dans la grande salle des machines en mouvement, qui dépend de cet établissement, les 4, 5, 6, 7 et 9 janvier 1882.

La pile mise à notre disposition se composait de 35 éléments, nouveau modèle, à lames contournées en spirale, pesant chacun 43^{kg},700, liquide compris; les électrodes de plomb étaient recouvertes de minium, à raison de 10 kilogrammes environ par mètre carré. Le liquide des piles était formé d'eau distillée, additionnée du dixième de son poids d'acide sulfurique pur.

La machine de charge, également fournie par M. Faure, à sa convenance, était du type Siemens. La résistance de l'anneau était de 0,27 ohms, celle de l'inducteur, de 19,45 ohms. L'électro-aimant était excité par une dérivation prise sur la bobine même de la machine; pour régler le courant excitateur, M. Faure avait interposé une espèce de voltamètre, à électrodes de charbon, dans lequel il faisait varier la résistance en

(*) *Comptes rendus de l'Académie des sciences.* Expériences faites par MM. Allard, Leblanc, Joubert, Potier et Tresca, M.

modifiant la quantité ou la nature du liquide. Pendant toute la durée de l'expérience, le courant d'excitation est resté, par suite de cet arrangement, compris entre 2 et 3 ampères.

L'objet principal de l'expérience était de mesurer :

1° Le travail mécanique dépensé pour la charge de la pile ;

2° La quantité d'électricité emmagasinée pendant la charge ;

3° La quantité d'électricité rendue pendant la décharge ;

4° Le travail électrique réellement effectué pendant la décharge.

Il était nécessaire en outre de connaître, en chaque instant de l'expérience, la force électromotrice et la résistance de la pile et, enfin, comme la décharge devait se faire à travers une série de lampes Maxim à incandescence, d'étudier la variation de la résistance et du pouvoir lumineux de ces lampes, suivant l'intensité du courant.

Le travail mécanique a été mesuré au moyen du dynamomètre totalisateur, construit, pour la Société des agriculteurs de France, par MM. Easton et Anderson, sur le modèle de celui de la Société royale d'agriculture d'Angleterre.

L'intensité lumineuse a été constatée avec le photomètre Foucault, qui avait déjà servi à l'Exposition.

Quant aux mesures électriques, elles ont été faites au moyen des trois instruments suivants : un galvanomètre Marcel Deprez, qui mesurait le courant total, et quelquefois le courant d'excitation ; un électro-dynamomètre Siemens, qui mesurait seulement le courant de charge, et un électromètre à cadran, disposé suivant la méthode

indiquée par M. Joubert, qui faisait connaître la différence de potentiel entre les deux pôles de la pile.

Les indications de tous les instruments étaient relevées de quart d'heure en quart d'heure, quelquefois même à des intervalles plus rapprochés.

Nous ne pouvons indiquer ici que les résultats calculés des principales déterminations. En ce qui concerne les périodes de la charge de la pile, elles se trouvent résumées dans le tableau suivant :

Tableau I. — *Charge de la pile.*

Dates.	Durées des expériences.	Vitesse moyenne de la machine dynamo-électrique en tours par minute.	Travail mécanique indiqué par le dynamomètre en kilogrammètres.	Potentiel moyen de la pile en volts.
	h m			
Janvier 4.	5,30	1079	2414907	82,21
— 5.	7.00	1072	2772292	91,08
— 6.	7,30	1083	3246871	92,91
— 7.	2,45	1085	1135728	92,06
	22,45		T = 9569798	
		t (trav. de la transmis.) =	808750	
			8761048	

Dates.	Durées des expériences.	Intensité moyenne du cour^{t} de charge en ampères.	Intensité moyenne du cour^{t} d'excitation en ampères.	Quantité d'électricité fournie à la pile en coulombs.
	h m			
Janvier 4	5,30	10,93	2,46	216400
— 5	7,00	7,97	2,81	200800
— 6	7,30	7,94	2,33	214300
— 7	2,45	6,36	2,18	63000
	22,45			Q = 694500

Dates.	Durées des expériences.	Travail électrique de la charge en kilogrammètres.	Travail électrique d'excitation en kilogrammèt.	Travail électrique de l'anneau en kilogrammèt.
	h m			
Janvier 4	5,30	1814600	408400	94400
— 5	7,00	1947100	676300	79100
— 6	7,30	2028800	596100	76800
— 7	2,45	591600	202800	19500
	22,45	T' = 6382100	T'' = 1883600	T''' = 269800

Les mêmes déterminations ont été faites pendant la décharge, en même temps qu'on observait au point de vue de l'intensité lumineuse une des douze lampes Maxim placées en dérivation sur le circuit.

D'une manière générale, nous nous bornerons à indiquer ici que l'on a obtenu dans une expérience prolongée la lumière d'une carcel avec une dépense $5^{kg},80$ de travail électrique par seconde.

Les données relatives à la décharge de la pile sont d'ailleurs résumées dans la tableau suivant :

TABLEAU II. — *Décharge de la pile.*

Dates.	Durée des expériences.	Potentiel moyen de la pile en volts.	Résistance moyenne du courant en ampères.	Quantité d'électricité en coulombs.	Travail électrique extérieur en kilogrammèt.
	h m				
Janvier 7	7,19	61,39	16,128	424800	2608000
— 9	2,20	61,68	16,235	194800	1201000
	10,39			Q' = 619600	θ = 3809000

Conclusions. — L'examen des nombres qui précèdent présente un réel intérêt; on voit d'abord que, entre la quantité d'électricité introduite dans la pile, 694.500 coulombs, et celle qui en est sortie, 619.600, il n'y a qu'une différence de 74.900 coulombs, correspondant à une perte proportionnelle de 10 p. 100 environ (0,108).

Le travail électrique extérieur pendant la durée tout entière de la décharge s'élève à 3.809.000 kilogrammes; le travail mécanique dépensé avait atteint 9.570.000 kilogrammes, mais, sur ce travail réellement fourni, 6.382.000 kilogrammes seulement avaient pu être emmagasinés pas la pile. Il résulte de là que le travail récupéré pendant la décharge représente 3.809.000 : 9.570.000 = 0,40 du travail total, et 3.810.000 : 6.382.000 = 0,60 du travail emmagasiné.

Ce résultat s'explique facilement en ce que la quantité d'électricité reste sensiblement la même dans les deux cas, où la charge s'est faite avec un potentiel moyen de 6.328.000 : 625.300 = 71 volts, et la décharge sous un potentiel moyen de 3.809.000 : 619.600 = 61,5 volts.

Entre les deux cas, les niveaux étaient dans le rapport de trois à deux : cette différence de potentiel dans les deux phases distinctes est inévitable. En effet, si l'on désigne par E la force électro-motrice de la pile, par R sa résistance intérieure, par I et t l'intensité du courant et sa durée, pendant la charge, et si l'on représente par les mêmes lettres, avec accent, les quantités correspondantes pour la décharge, le rendement électrique a pour expression

$$\alpha = \frac{I'(E' - R'I')t'}{I(E - RI)t};$$

on a d'ailleurs, abstraction faite de la déperdition, $I't' = It$, et il est permis d'admettre aussi que $E = E'$, ce qui conduit à

$$\alpha = \frac{E - R'I'}{E + RI}.$$

On voit ainsi que le rendement sera toujours inférieur à l'unité, mais d'autant plus grand que les intensités et les résistances seront plus petites. Il y a donc intérêt à charger la pile avec le plus faible courant possible et par suite à prolonger la durée de la charge.

Dans l'expérience actuelle, E étant voisin de 75 volts, il se trouve que $R'I'$ est sensiblement égal à RI, bien que I' soit plus grand que I. Cela tient à ce que la résistance de la pile, comme cela résulte d'ailleurs de l'observation, a été sensiblement plus faible pendant la décharge que pendant la charge.

En résumé, et pour mettre les résultats précédents

sous une forme plus saisissable, la charge de la pile a exigé un travail mécanique total de $1^{ch},558$ pendant $22^{h}45^{m} = 1.365^{m}$, ou un cheval pendant

$$1,558 \times 1.365^{m} = 2.126^{m} \quad \text{ou} \quad 35^{h}26^{m}.$$

La pile n'a recueilli en réalité que 0,66 de ce travail, le surplus ayant été employé en résistances passives et en travail d'excitation.

Le travail de 6.382.100 kilogrammes ainsi emmagasiné n'a été lui-même récupéré dans ses effets extérieurs que jusqu'à concurrence de 60 p. 100, et il y a lieu de supposer qu'il en aurait été de même dans toute autre application analogue à celle du fonctionnement des lampes Maxim, sur lesquelles il a été employé.

L'emploi de l'accumulateur a donc coûté 0,40 du travail fourni par la machine dynamo-électrique qui avait produit le courant, ou en d'autres termes 0,40 du travail électrique qui aurait été librement disponible sans cet intermédiaire. Il n'est que juste toutefois d'ajouter qu'en bien des circonstances cette perte se trouverait utilement rachetée par l'avantage que l'on pourrait avoir à conserver sous la main, et entièrement à sa disposition, une source aussi abondante d'électricité.

La pile constitue d'ailleurs un régulateur puissant, dont l'action suffirait au besoin pour suppléer, dans certaines applications et pendant un temps assez long, à l'arrêt même de la machine motrice.

LA TÉLÉGRAPHIE
A L'EXPOSITION D'ÉLECTRICITÉ
DE 1881

DE LA TÉLÉGRAPHIE EN GÉNÉRAL.

Parmi les emblèmes qui décorent les boiseries de la section espagnole, on remarque des traits de foudre, qui brisent les uns un sablier, les autres une des branches d'un compas ouvert. C'est l'électricité brisant les deux obstacles qui limitent les manifestations de la volonté humaine, le temps et la distance.

L'étymologie du mot *télégraphe* (*), *qui écrit de loin*, rappelle la même idée; car l'écriture, fixant la pensée, la rend indépendante du temps, et la télégraphie, anéantissant les distances, l'affranchit de l'espace.

Le but de la télégraphie, sans distinction de systèmes, c'est le transport rapide de la pensée à toute distance. L'énumération des divers moyens par lesquels peut s'opérer ce transport nous ramènera à chaque instant dans l'Exposition; car, quand l'électricité n'est pas l'agent actif de la transmission, elle entre la plupart du temps comme un intermédiaire dont l'emploi constitue un perfectionnement du système primitif.

(*) Voir *Gerspach*, Histoire administrative de la télégraphie en France, *Annales* 1860.

La pensée s'exprime par *la parole*, *l'écriture* ou *les signaux*.

TRANSMISSION DE LA PAROLE.

La parole est le mode le plus complet de transmission de la pensée : le desideratum serait donc une parole qui se ferait entendre à toute distance. On a d'abord cherché à augmenter la portée de la voix : de là le porte-voix, les tuyaux acoustiques et le *téléphone à ficelle*, qui marque la transition du *transport* de la voix à sa *reproduction* à distance par l'intermédiaire de l'électricité (*Annales* à partir de 1876).

Les téléphones articulants ou parlants, dont M. *Bourseul* eut l'idée dès 1854 (*Annales* 1878), sont les instruments servant à la transmission électrique de la parole. On distingue les transmetteurs téléphoniques en téléphones *magnétiques* comme celui de *Bell* (1876), et téléphones *à courant de pile*, comme le téléphone à *charbon* d'*Edison* ou le *microphone* de *Hughes*. Les récepteurs téléphoniques sont électro-magnétiques, à l'exception du récepteur chimique d'*Edison*, qui repose sur l'emploi de l'*électromotographe* du même inventeur, et qui actionné par un transmetteur à charbon parle assez haut pour être entendu de tous les points d'une salle.

Il suffit de traverser l'Exposition pour juger du développement qu'a pris cette invention de date si récente (1876). Il n'est pas de pays qui n'exhibe des spécimens de ces instruments et de leurs applications de toute nature, télégraphiques, industrielles, médicales et scientifiques. *La Société générale des téléphones* expose la curieuse installation d'un poste central téléphonique et des types des divers téléphones et microphones en usage

dans son exploitation. Tous ceux qui ont entendu les premiers téléphones se rappellent leur voix de *polichinelle;* qu'ils écoutent les chants de l'Opéra arrivant au palais de l'Industrie par le système *Ader*, et ils apprécient le progrès accompli. Mentionnons, dans la section belge, le *pantéléphone* de M. *de Locht-Labye*, qui transmet les sons émis à plusieurs mètres du carré de drap vert recouvrant sa plaque microphonique.

Le téléphone transmet la parole, le *phonographe* l'enregistre et peut la reproduire sur place à toute époque. En recevant sur le phonographe les sons émis dans un téléphone éloigné, on réalise le desideratum théorique d'une parole affranchie à la fois de la distance et du temps.

Le *téléphonographe d'Edison* enregistre les paroles prononcées dans un téléphone lointain et non seulement les reproduit sur place, mais peut les renvoyer encore dans le téléphone d'origine ou dans un autre téléphone (*).

La transmission de la parole par les instruments que

(*) Le téléphone a rendu possible les communications directes entre particuliers dans une même ville; il est utilisé avec avantage pour l'exploitation de certains réseaux d'intérêt spécial et pour les relations de bureaux peu occupés. Mais est-il destiné à se substituer d'une façon générale aux appareils télégraphiques proprement dits, dans l'exploitation des lignes d'un pays? Nous ne le croyons pas; ce n'est pas à cause des difficultés que rencontre son emploi à de grandes distances et qui tiennent à sa sensibilité même : elles seront surmontées un jour ou l'autre, et déjà on peut entendre à 200 kilomètres.

Mais supposons un appareil parfait pouvant fonctionner à toutes distances : l'impossibilité de créer un réseau général aussi complexe que le réseau d'une ville ne permettra jamais que l'expéditeur puisse causer directement avec le destinataire. Il faudra un intermédiaire auquel on remettra la dépêche écrite : l'intermédiaire devra la lire et l'articuler à son correspondant; mais si elle est écrite dans une langue étrangère inconnue de l'un des deux? Enfin les appareils télégraphiques que l'on emploie sur les lignes où le trafic est très développé écoulent les dépêches en moins de temps qu'il n'en faut pour les lire à haute voix.

nous venons de citer, le porte-voix excepté, exige un lien matériel entre les deux correspondants, un tuyau ou un fil. Le *photophone* et le *thermophone* suppriment cet intermédiaire et le remplacent par les radiations lumineuses ou calorifiques d'un faisceau éclairant: le nom de *radiophonie* englobe les deux ordres de phénomènes. Cette invention de MM. *Bell* et *Tainter* a un grand intérêt théorique au point de vue de l'unité et de la transformation des forces naturelles; mais sa portée pratique au point de vue de la transmission de la parole n'est pas encore établie.

TRANSMISSION DE L'ÉCRITURE.

Elle s'effectue par les *mouvements de translation.* Pour communiquer par translation, il y a d'abord les *moyens ordinaires de la poste :* piéton, vélocipède, cheval, navires et chemins de fer. L'exposition remplace les moteurs animés et les moteurs à vapeur par des moteurs électriques : voici des vélocipèdes, des tricycles et des voitures emportant leur provision d'électricité dans un *accumulateur* de *Planté* ou de *Faure.* Dans la pièce d'eau autour du phare circule un canot électrique rappelant le bateau de *Jacobi* qui flotta sur la Néva en 1837; à l'exposition belge, M. *Lippens* expose une locomotive électrique construite en 1840; à l'exposition allemande, la maison *Siemens* montre son petit chemin de fer aérien pour le transport des lettres (*poste aux lettres électrique*), et son *tramway électrique* fait le service entre le Palais et la place de la Concorde.

Comme *moyens extraordinaires*, la poste dispose encore des ballons et des pigeons voyageurs, si populaires depuis le siège de Paris. On voit de temps en temps pla-

ner dans la grande nef du palais un *aérostat dirigeable*, en forme de poisson, que dirige plus ou moins une hélice mise en rotation par un moteur électrique. La *photographie électrique* d'autre part évoque le souvenir de la réduction photographique à laquelle étaient préalablement soumis les messages confiés aux pigeons, et du *microscope photo-électrique* à l'aide duquel on déchiffrait les dépêches arrivées au colombier.

Dans le pavillon du ministère des postes et des télégraphes figure un spécimen de la *poste atmosphérique ou télégraphe pneumatique* en usage pour le transport des dépêches à l'intérieur des grandes villes. Ce mode de communication par l'air comprimé a été décrit très complètement dans les *Annales télégraphiques* (1874-1875), par M. *Bontemps*, l'auteur de l'élégant système, exposé aussi, qui sert à déterminer la position d'une obstruction, en cas d'arrêt de la circulation des boîtes à dépêches dans les tubes.

Par l'intermédiaire de l'électricité, on reproduit à distance le langage écrit, quelle que soit d'ailleurs sa forme, écriture, dessin, musique, etc. C'est l'objet des *télégraphes autographiques* ou *pantélégraphes*. Enfin la découverte de la radiophonie a fait concevoir la possibilité de reproduire télégraphiquement les images obtenues dans la chambre noire en combinant l'action de la lumière sur le sélénium avec un récepteur fondé sur le principe des télégraphes autographiques. Tel est le but de la *téléphotographie* : sous le nom de *télectroscope*, M. Senlecq, d'Ardres, a décrit le plan d'un appareil combiné dans cette intention; un commencement de réalisation matérielle a été obtenu avec le *télégraphe photographique* de M. Shelford Bidwell. D'autre part, *la plume électrique* d'*Edison* et *le crayon voltaïque* de *Bellet* reproduisent sur place à

un très grand nombre d'exemplaires tout ce qu'on peut tracer sur une feuille de papier.

TRANSMISSION DES SIGNAUX.

Le transport de l'écriture est un moyen de communication trop lent pour les grandes distances : aussi a-t-on songé de bonne heure à exprimer la pensée à l'aide de signaux susceptibles d'être rapidement transmis par les agents naturels. La question est complexe; il faut examiner successivement : 1° l'application des signaux à l'expression de la pensée, et 2° la série des phénomènes physiques propres à leur transmission.

I. — Pour exprimer la pensée par des signaux on a recours aux *langues télégraphiques*, qui sont au nombre de trois.

La première représente par des signaux des phrases convenues à l'avance sur une éventualité prévue. C'est la langue *hiéroglyphique*, ou *symbolique*, ou *idéographique* : c'est la plus brève, car elle exprime par un seul signe une idée complète ; mais elle est impuissante pour annoncer les faits imprévus. Elle n'est guère plus employée que pour les indications réglementaires et conventionnelles de transmission, et c'est le plus souvent une abréviation du mot que l'on veut exprimer. On a proposé de l'appliquer sous forme de *sténographie* aux dépêches à transmettre par les télégraphes autographiques.

Dans la seconde, les signaux expriment des chiffres qui représentent des lettres, des mots et des phrases que l'on consigne dans un double vocabulaire, l'un pour traduire les idées en signaux, l'autre pour traduire les si-

gnaux en idées. C'est la *langue numérique*, la plus féconde de toutes, car on peut combiner les signes comme on combine les nombres dans la numération et exprimer beaucoup de choses par peu de signes. C'est celle du célèbre vocabulaire *Chappe*, en usage dans l'ancienne télégraphie aérienne française et dans l'appareil télégraphique *Foy-Bréguet*, qui marque chez nous la transition de la télégraphie aérienne à la télégraphie électrique, alors que beaucoup de dépêches devaient encore emprunter à la fois la voie aérienne et la ligne électrique. On a proposé de créer avec les nombres une langue télégraphique universelle, une sorte de vocabulaire international, reposant sur la décomposition des nombres en unités de diverses espèces, mille, centaines, dizaines, unités. Les mille, par exemple, représenteraient l'idée la plus générale, et les unités l'individualité. M. Laboulaye, dans le *Prince Caniche*, cite un exemple charmant de cette télégraphie *sériaire*. Voir le chapitre : « De l'arithmétique politique chez les Gobe-mouches. » La langue numérique n'est plus adoptée aujourd'hui que pour les dépêches du service météorologique et pour le langage secret, et encore emploie-t-on le plus souvent pour ce dernier un alphabet à *clef*: Wheatstone a même imaginé un *cryptographe* mécanique pour rendre le texte indéchiffrable sans la clef et pour changer de clef à volonté.

La troisième affecte les signaux à représenter les lettres de l'alphabet. C'est la *langue alphabétique*, elle est simple et peut exprimer toutes les idées possibles, mais elle exige beaucoup de temps. L'*étude des alphabets*, ou combinaisons de signaux élémentaires représentant les lettres et signes conventionnels de l'écriture, a une importance capitale en télégraphie : il importe de bien la connaître pour apprécier le mérite d'un système ou d'un

appareil télégraphique. Nous allons seulement en donner une esquisse.

Un seul signal élémentaire suffit à la rigueur, pourvu qu'on puisse le répéter rapidement et que ses reproductions soient convenablement groupées. Le plus souvent on se sert de deux signaux élémentaires distincts : un point et un trait, un point à droite et un point à gauche, ou en haut et en bas ; un déplacement court et un long, ou à droite et à gauche, ou en haut et en bas ; un son bref et un son prolongé, une note aiguë et une note grave ; un éclair de lumière et un éclat prolongé, un feu blanc et un feu rouge, etc. La *langue Morse* est la plus employée (*) : elle exige jusqu'à quatre signaux pour une lettre et cinq pour les chiffres et signes conventionnels. En dehors des appareils Morse ordinaires, on s'en sert dans le *télégraphe automatique de Wheatstone;* elle est légèrement modifiée dans le *multiple Meyer*, de manière à ne jamais dépasser quatre signaux.

La substitution au trait d'un second point différemment placé, qui constitue la modification dite de *Steinheil*, est adoptée dans le *galvanomètre de transmission*, et dans le *Syphon Recorder* en usage sur les longues sous-marines. On la retrouve dans les anciens appareils de *Steinheil* et de *Stöhrer* de l'exposition allemande et dans les appareils modernes de *Juite* (Allemagne) et de *Bramao* (Portugal) (**).

(*) Cette langue peut être perçue par les trois sens de la vue, de l'ouïe (sons longs et brefs) et du toucher. En frappant avec le doigt dans la main de l'interlocuteur, un sourd-muet peut causer avec un aveugle, et un sourd-muet, devenu aveugle, pourrait encore communiquer avec ses semblables. Elle peut être employée dans tous les systèmes de télégraphie, quel que soit l'agent physique de transmission.

(**) Parmi ces appareils, les uns sont à deux styles, les autres (celui de Bramao et le Syphon) tracent une ligne continue, dont les bosses supérieures représentent les traits et les bosses inférieures, les points.

Un autre système d'alphabet consiste à représenter chaque lettre par un certain nombre de points placés sur une même verticale à différentes hauteurs. Le papier présente alors une série de lignes parallèles comme une portée musicale. Ces alphabets, étudiés déjà par *Morse*, sont décrits dans l'ouvrage de *Vail* (1845), à propos des appareils *à plusieurs plumes opérant ensemble ou séparément.* Si nous les citons aujourd'hui, c'est que les combinaisons des signaux fournis par cinq électro-aimants ont été utilisés par M. *Baudot*, dans son *multiple imprimeur*, qui est le grand succès de l'exposition du ministère des postes et des télégraphes. Mais à l'aide d'un ingénieux *combinateur*, électrique dans les premiers modèles, mécanique dans les derniers, chaque combinaison de points est transformée en une lettre imprimée. Dans les *Annales* de 1877, l'inventeur a fait lui-même la description des appareils à signaux indépendants qui ont précédé le sien.

L'alphabet de l'appareil *Dujardin* offre ceci de curieux qu'il reproduit un mode de correspondance bien ancien, car il est décrit dans *Polybe.* Chaque lettre se compose de deux groupes de points, l'un indiquant le numéro de la rangée horizontale, l'autre celui de la rangée verticale dans une table de Pythagore dont les produits seraient remplacés par les lettres de l'alphabet. Dans le système de Polybe, les points étaient figurés par des torches allumées.

Citons encore les alphabets des appareils à *aiguilles*, anciens et modernes, dont on voit la collection complète dans le pavillon du Post-Office anglais : appareils à 1, 2, 4 et 5 aiguilles. Remarquez l'élégante disposition de l'appareil à cinq aiguilles de *Wheatstone* où, pour indiquer une lettre, on fait pointer deux aiguilles sur la case

qui la contient. Voici dans l'exposition rétrospective italienne un curieux appareil à trois aiguilles de *Magrini* (1832) qui serait contemporain de celui à cinq aiguilles de *Schilling* (section russe) et aurait précédé ceux à une aiguille de *Gauss* et *Weber* (1834), à deux aiguilles de *Steinheil* (1837), tous les deux dans la section allemande, et celui de Wheatstone (1837).

En combinant des points et des traits sur plusieurs lignes parallèles, on peut obtenir d'autres alphabets : un d'eux sur deux lignes a été employé dans certains appareils à deux styles tels que celui de *Stöhrer* (Allemagne) ; il l'est encore dans le *Rapide Americain* à deux styles de MM. *Foote* et *Goodspeed* (*Annales* 1880), qui ne figure pas à l'Exposition (*).

Enfin les lettres sont *indiquées* en caractères ordinaires d'imprimerie dans les *cadrans alphabétiques*, *imprimées* réellement dans les *appareils imprimeurs*, et *reproduites* sous forme de hachures dans les *typo-télégraphes* de *Bonelli* et de *Cook*, ou sous une forme se rapprochant de l'écriture courante dans le système *Vavin et Fribourg.*

II. — Tous les signaux usités dans la télégraphie sont *acoustiques* ou *optiques*, en ce sens qu'ils sont toujours

(*) Il est clair que plus les signaux élémentaires seront nombreux, moins il sera nécessaire de les répéter pour obtenir un nombre déterminé de combinaisons; mais, pour augmenter les signaux élémentaires, il faut les compliquer; or toute complication d'un signal retarde sa formation au départ et sa traduction à l'arrivée. La simplicité des signaux élémentaires et de leurs combinaisons, la netteté de leur formation et la facilité de leur traduction passent avant les avantages de leur nombre. Aussi, sauf pour quelques lignes sous-marines, sur lesquelles on se sert de l'alphabet de Steinheil, l'alphabet de tous les appareils écrivants en exploitation (du moins en Europe) est celui de Morse, malgré les inconvénients du trait au point de vue électrique; et, pour se conformer à l'usage, Wheatstone a dû adapter à l'alphabet Morse son appareil automatique à grande vitesse, construit primitivement pour celui de Steinheil. Il y a de quoi faire réfléchir ceux qui cherchent des alphabets plus rapides.

perçus par l'ouïe ou par la vue (*). Mais au point de vue du phénomène physique de propagation qui est utilisé pour leur transmission, on peut diviser les télégraphes en cinq catégories :

1° Les télégraphes *hydrauliques*, fondés sur les déplacements à distance par la transmission des pressions dans les liquides, comme le télégraphe *à niveau d'eau* (*Annales* 1859, p. 324), celui de M. *de Lucy* (*ibid.*), dans lequel le tube est fermé par deux membranes, et celui de M. *Tommasi*, qui a figuré à l'Exposition de Vienne (*Annales* 1874) et dans lequel l'eau du tube était de l'eau *forcée*, dans l'espoir qu'une pression à un bout obligerait la colonne d'eau, préalablement *forcée*, à se déplacer tout d'une pièce, comme le ferait une tige solide.

2° Les télégraphes *à air*, fondés sur les déplacements à distance par la transmission des pressions par l'air. Ainsi la pression exercée sur une poire en caoutchouc pleine d'air est transmise par un tube à une poche qui se gonfle et déclenche soit un mécanisme qui fait avancer une aiguille d'une division, comme dans certains télégraphes à cadran ou dans les *horloges pneumatiques* que l'on voit sur les grands boulevards; soit le marteau d'un timbre, comme dans les sonneries à air; soit le pène d'une serrure, remplissant ainsi l'office du cordon d'une porte.

M. *Marcel Deprez* a indiqué un moyen d'obtenir la transmission simultanée de deux dépêches en sens contraire (duplex) avec un télégraphe à air. MM. *Humblot* et *Terral* exposent au pavillon des télégraphes un *duplex* de ce genre, calqué en quelque sorte sur le duplex

(*) Les signaux se distinguent encore en signaux *fugitifs*, qui disparaissent après avoir été formés, et en signaux *persistants*, qui subsistent après leur formation.

électrique constitué par un *pont* de Wheastone à branches égales. Les piles sont remplacées par des souffleries, des robinets servent de rhéostats, la ligne est une conduite d'air, et l'atmosphère remplace la terre comme réservoir commun.

3° Les télégraphes *acoustiques*, fondés sur la propagation du son, ou sur la transformation réciproque des vibrations sonores en vibrations électriques.

Les signaux acoustiques sont d'un usage général dans tous les systèmes de télégraphie pour *appeler* l'attention du correspondant. Les tubes acoustiques ont un sifflet d'appel; les télégraphes, les postes d'incendie, les chemins de fer ont des sonneries. Le sifflet *électro-automoteur* de MM. *Lartigue* et *Forest* (*Annales* 1875) prévient le mécanicien aveuglé par le brouillard ou la neige qu'il passe devant un disque à l'arrêt. Les téléphones ont aussi leur signal d'appel, tantôt une sonnerie, tantôt le son strident de la roue dentée de M. *Cooke* (*Annales* 1878), ou l'anche vibrante des systèmes *Siemens* et *Gower*. L'appel *fugitif* devient *persistant* par les sonneries à mouvement d'horlogerie; le plus souvent il est accompagné d'un *indicateur visible d'appel;* c'est un *voyant* déclenché par le signal d'appel, dans la plupart des sonneries; l'appel téléphonique de Gower est complété par le *signal visible d'Ader*.

Le clairon dans l'armée, le sifflet dans la marine, le canon, constituent des télégraphes acoustiques. La langue Morse s'adapte très bien au clairon et au sifflet, ainsi qu'aux sirènes et sifflets à vapeur des navires, et à la trompette à vapeur des phares.

Ces signaux n'exigent pas de lien spécial entre les stations, mais leur portée est limitée. Si l'on admet un autre intermédiaire que l'air, on pourra utiliser la pro-

pagation du son à travers les solides comme dans le téléphone à ficelle ou la *lyre magique* de Wheatstone (1819), laquelle transmet ses sons à une caisse sonore à travers une longue tige de sapin.

Enfin, les vibrations sonores étant convertibles en vibrations électriques et vice versa, un fil conducteur permettra de transmettre électriquement les sons. C'est ce qui est réalisé par le téléphone *musical* ou *chantant*, tandis que le téléphone *articulant* ou *parlant* transmet électriquement la parole, ce qui est un résultat bien plus difficile à obtenir.

Dans les transmetteurs musicaux, la communication entre la pile et la ligne est établie par l'intermédiaire d'une lame ou membrane vibrante ou d'un diapason, qui émet ainsi des courants vibratoires; les sons sont reproduits à distance, soit par les aimantations et désaimentations successives d'une tige de fer doux placé dans une bobine, comme dans le téléphone de *Reis* (1860) exposé dans la section allemande, soit par le *condensateur chantant de Varley* (1870), soit par une lame ou diapason vibrant synchroniquement avec le transmetteur et qu'actionne un électro-aimant, comme dans les systèmes de *Elisha Gray* et de *Lacour* (1874).

Ces différents systèmes sont décrits dans les *Annales* de 1877. Une disposition très commode pour entretenir les vibrations du diapason transmetteur est celle du *diapason électrique de M. Mercadier* (*Annales* 1874, 1876).

La transmission électrique des sons a donné naissance à la *télégraphie harmonique*. En 1860, M. *l'abbé Laborde* signalait à l'Académie des sciences cette expérience curieuse, que si plusieurs courants vibratoires sont émis simultanément sur une ligne par des lames vibrantes donnant des notes différentes, et si des lames accordées

respectivement avec celles du transmetteur sont placées à l'arrivée en regard d'un même électro-aimant traversé par tous les courants vibratoires, chaque lame du transmetteur choisit au récepteur sa lame correspondante et la fait vibrer de préférence à toutes les autres (*). « On pourrait évidemment, ajoute-t-il, fonder sur cette expérience un nouveau système de télégraphie (*Ann.* 1860). » Cette idée a été réalisée par M. Elisha Gray et par M. Lacour en 1874, et M. Gray a donné le nom topique d'*analyseur* aux récepteurs vibrants qui décomposent le courant complexe émis sur la ligne pour s'approprier chacun celui qui lui convient. Mais, dès 1865, M. *de Coincy* avait imaginé sur le même principe un moyen de rappeler à volonté des bureaux intercalés dans le même circuit (*Annales* 1880).

En 1870, M. *Varley* avait montré qu'on peut superposer une transmission Morse à une transmission harmonique. Dans le *télégraphe harmonique de Gray*, qui figure dans la section des États-Unis, une *transmission Morse duplex* est superposée à une transmission harmonique *quadruple*, ce qui fait six transmissions simultanées (**).

Avant de quitter les applications de l'acoustique, signalons le *pyrophone électrique* de M. *Kastner* (Allemagne), qui utilise les propriétés des *flammes chantantes*, pour convertir les appareils à gaz d'éclairage, lustres et autres, en instruments chantants.

(*) Sous l'influence du courant vibratoire émis par une des lames, toutes les lames du récepteur vibrent, mais celle-là seule qui est accordée à l'unisson de celle qui transmet prend des vibrations d'une amplitude suffisante pour donner un son.

(**) Ce système fonctionnerait en Amérique, entre Chicago et Dubuque (300 kilomètres), avec dix-sept stations intermédiaires. La correspondance des stations extrêmes serait faite par une quadruple transmission harmonique, qu'on peut rendre *octuple* par un arrangement en *duplex*, et celle des stations intermédiaires par le Morse.

4° Les télégraphes *optiques*, fondés sur la propagation de la lumière, ou plus généralement des radiations lumineuses ou calorifiques.

Les yeux seuls ou armés de télescopes aperçoivent les signaux lumineux à de très grandes distances : la vitesse de la lumière est de 300.000 kilomètres par seconde, soit un million de fois plus grande que celle du son dans l'air. Les signaux peuvent être produits et perçus par des instruments simples et relativement peu coûteux. Enfin ils n'exigent pas entre les stations un conducteur spécial qu'il faut entretenir et protéger en tout temps contre les accidents extérieurs, et défendre contre l'ennemi en temps de guerre. Ainsi, simplicité, rapidité, économie et sécurité, la télégraphie optique réunit toutes ces qualités; mais elle est souvent interrompue par le brouillard et les circonstances atmosphériques. Si elle a été justement remplacée par la télégraphie électrique pour l'établissement de communications permanentes, elle rend encore de grands services pour l'installation rapide de communications provisoires à petite distance.

La télégraphie optique est aussi ancienne que le monde : elle remonte aux premiers hommes, qui ont allumé des feux sur les hauteurs pour faire des signaux convenus, et ce système rudimentaire est encore employé à cette heure dans les tribus arabes. Mais le premier télégraphe optique vraiment digne de ce nom (*) est le *télégraphe aérien de*

(*) On sait cependant par Polybe que les anciens s'étaient occupés de télégraphie optique. Indépendamment du système de correspondance alphabétique cité à propos de l'alphabet Dujardin, ils avaient imaginé un télégraphe optique fondé sur le synchronisme. On avait à chaque station deux vases identiques, remplis d'eau à un même niveau indiqué par un flotteur mobile le long d'une règle divisée, chaque division ayant une signification convenue. Ces vases étaient percés d'un orifice leur assurant le même écoulement. A un signal donné par une torche, cet orifice était ouvert par les deux correspondants, puis fermé dès que la torche était

Chappe (1793). Dans les *Annales* de 1860 et 1861, M. *Gerspach* raconte l'histoire de la télégraphie aérienne en France ; les détails techniques du télégraphe de Chappe ont été décrits complètement dans le *Traité de télégraphie* de M. l'abbé Moigno. Voici les principes essentiels posés par Chappe et d'une application générale dans tous les télégraphes optiques.

La *visibilité* des objets *lumineux ou éclairés* est proportionnelle à leur éclat et à leur surface, mais l'intensité est en raison inverse du carré de la distance. *La visibilité se mesure d'ailleurs par la différence entre la lumière de l'objet et celle du fond sur lequel il se détache.* Le jour, le fond du ciel à l'horizon est blanc, les signaux doivent être noirs et élevés sur l'horizon pour contraster avec un fond très éclairé, à moins qu'ils ne soient plus éclairés que l'horizon, comme dans les télégraphes optiques à lumière artificielle, ou dans le *télélogue* de M. *Gaumet*, consistant en grandes lettres argentées posées sur les feuillets d'un album en toile cirée noire et qu'on peut lire avec une lunette, même en temps de brume, à 5 kilomètres de distance. La nuit, l'horizon est noir, les signaux doivent être lumineux.

Pour la *forme et la couleur des objets*, un point noir sur un fond blanc se voit de moins loin qu'une ligne de

abaissée, et l'on regardait la division indiquée par le flotteur. Reliez les deux orifices par un tube, et remplacez l'écoulement par une pression à l'un des bouts, et vous avez le *télégraphe à niveau d'eau*, qui a fonctionné jadis sur un chemin de fer anglais.

Un des premiers essais de Chappe fut aussi fondé sur le synchronisme : un signal instantané marquait le moment où les aiguilles de deux pendules parfaitement d'accord passaient sur certains points de leur cadran ; et le rapport de Lakanal à la Convention constate que Chappe employa d'abord l'électricité dans ce but, et que la difficulté d'isoler le conducteur lui fit regarder son projet comme *chimérique*. Mais n'est-ce pas là le télégraphe de *Ronalds* (1816) qui figure dans la section anglaise ?

même largeur : donc la surface doit être allongée plutôt que circulaire ou carrée. De deux lignes de même largeur, la plus longue se voit le plus loin. Deux lignes tracées l'une à côté de l'autre paraissent n'en faire qu'une, si la distance entre elles ne dépasse pas d'un quart la largeur de chaque ligne.

Quant aux *couleurs*, le rouge et le vert sont celles que l'on voit le plus loin, mais le rouge a une supériorité marquée. Un fait important est que deux lumières, l'une à travers des verres incolores, l'autre à travers des verres colorés, se distinguent, que l'atmosphère soit transparente ou brumeuse, dès que les lumières deviennent visibles. Le jour, au delà de 15 ou 20 kilomètres, toutes les couleurs se réduisent à deux : le blanc pour les objets éclairés directement par le soleil, le noir pour ceux qui sont dans l'ombre. Plus le rayon visuel s'éloigne du sol, plus il est garanti des brumes qui s'amassent près de la terre, des fumées des habitations, des ondulations produites dans l'atmosphère par les différences de température et du mirage.

Toutes les circonstances qui influent sur la transmission des signaux lumineux ont été analysées soigneusement par M. *Léonce Reynaud*, le regretté directeur des phares et balises, dans son grand *Mémoire sur l'éclairage et le balisage des côtes de France*, publié par ordre du gouvernement en 1864. Les chapitres relatifs à l'éclairage et aux appareils d'éclairage doivent être lus attentivement par tous ceux qui s'occupent de télégraphie optique. La question de l'éclairage électrique a été mise au niveau des découvertes du jour par le collaborateur et successeur de M. Reynaud, M. *E. Allard*, dans son *Mémoire sur les phares électriques, comprenant le programme de l'éclairage électrique des côtes de France*

complété par des signaux sonores à vapeur, publié récemment. Les faits essentiels sont résumés d'ailleurs dans les articles de M. *Mercadier* « *Sur les principes de télégraphie optique* » (*Annales* 1880).

La source de lumière peut être la lumière solaire ou une lumière artificielle. Dans ses essais de la transmission des signaux par l'héliographe, *Gauss* démontra qu'un miroir de dimensions faibles pouvait projeter à plus de 40 kilomètres une lumière égale à celle d'une étoile de première grandeur, s'il est disposé de manière à renvoyer vers l'observateur une portion de l'image du soleil. De là l'idée d'employer des signaux consistant dans une série d'éclairs obtenus en faisant tourner le miroir ou le cachant : l'œil pouvant percevoir six éclairs par seconde, il en résulte une transmission rapide. Cette idée a été appliquée par *Leseurre*, en Algérie (1855); il a fait usage d'éclairs longs et brefs, combinés suivant le code Morse. Son appareil est décrit dans les *Annales* de 1864 et 1880. L'*héliographe de Leseurre*, simplifié par M. *Mance*, a rendu des services à l'armée anglaise dans le Zoulouland et l'Afghanistan.

Les appareils actuels de télégraphie optique peuvent utiliser soit la lumière solaire, soit les lumières artificielles; parmi ces dernières, on remarquera la lampe portative à pétrole et oxygène de M. *Mercadier*. La disposition des instruments est, en général, imitée de celle des expériences de M. *Fizeau* et de M. *Cornu*, pour la détermination de la vitesse de la lumière. Parmi les transmetteurs, les uns sont à objectifs ordinaires ou à échelons, d'autres sont munis de miroirs télescopiques, comme les projecteurs du *colonel Mangin* qu'exposent le *ministère de la guerre* et la maison *Sautter, Lemonnier et C*[ie]. On manipule avec une clef analogue à

celle du Morse ordinaire. Les signaux sont reçus à l'œil nu ou à la lunette. Celle-ci rapproche les distances, mais l'éclairement diminue avec le grossissement.

Les nombres suivants donnent une idée des distances de visibilité : quand l'atmosphère est pure, on peut apercevoir une tour à 40 kilomètres, une montagne à 60 ou 80, une chaîne de glaciers à 120 ou 160. Les *télémètres* permettent de déduire la distance d'un objet de sa hauteur au-dessus de l'horizon. Les phares de premier ordre atteignent des portées de 55 kilomètres (30 milles). Par le télégraphe solaire, on correspond à 40 kilomètres; avec les télégraphes de campagne, on peut compter sur 10 kilomètres. Avec des appareils Mangin, éclairés par une lampe de pétrole à mèche plate, MM. *Perier* et *Bassot* ont obtenu des signaux géodésiques visibles à l'œil nu à 80 kilomètres de distance (*Annales* 1877).

M. *Léard* (*Annales* 1875) a réussi à faire communiquer optiquement deux stations séparées par des obstacles qui les empêchent de se voir directement. Prenant les nuages pour écran, il projette sur eux des faisceaux lumineux interrompus : les signaux ont l'aspect d'une *queue de comète*.

Comme télégraphes optiques, nous avons encore les signaux maritimes par *pavillons*, *lanternes* ou *fusées* (*Annales* 1859); les *sémaphores* de la marine, qui sont une médiocre imitation du télégraphe Chappe; les disques et les *électro-sémaphores* des chemins de fer (*Annales* 1873-1875), dont le fonctionnement est contrôlé par des appareils électriques; les signaux de navires, etc.

Ajoutons que le code Morse est appliquable à tous les signaux faits avec des drapeaux, lanternes et fusées, et que Sir W. Thomson a proposé de l'appliquer à la distinction des phares (*Annales* 1878).

La *chaleur rayonnante* pourrait être utilisée comme agent de transmission, en la concentrant par un miroir convergent sur une pile thermo-électrique, qui ferait dévier un galvanomètre. De plus (voir page 133), les radiations calorifiques interviennent comme les radiations lumineuses dans les phénomènes de la *radiophonie* (*Annales* 1880 et 1881).

Des récepteurs photophoniques à sélénium et à noir de fumée sont exposés par la maison *Siemens* (section allemande) et par le *ministère des postes et télégraphes*. Au pavillon du ministère, on entend dans un thermophone à mica enfumé les accords de la *roue radiophonique* de M. Mercadier.

5° Les télégraphes *électriques*, fondés sur la propagation de l'électricité par les fils conducteurs. Avant d'examiner ces appareils, il convient de jeter un coup d'œil sur l'état de la science électrique à l'Exposition.

(*A suivre.*) R.

CONFÉRENCE DE M. MELSENS

SUR LES PARATONNERRES.

On sait que deux systèmes de paratonnerre sont en présence :

1° Le système de Gay-Lussac, basé sur l'emploi d'un petit nombre de conducteurs à large section et de tiges de grande hauteur.

2° Le système de M. Melsens, qui consiste à entourer l'édifice à protéger d'une sorte de cage métallique formée de conducteurs nombreux, mais de faible section, et garnis de pointes ou tiges courtes mais nombreuses.

M. Melsens a fait à ce sujet, sur la demande qui lui en a été faite par M. Dumas au Congrès des électriciens, une conférence intéressante que nous extrayons de la *Revue scientifique.*

DÉFINITIONS DU PARATONNERRE. — CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES.

Rien de plus simple à définir qu'un paratonnerre, conformément aux principes de Franklin : c'est un dispositif métallique aérien, pointe ou tige verticale, dominant un édifice et mis en communication métallique non interrompue (conducteur) avec le *réservoir commun*, c'est-à-dire la terre. L'électricité, sous forme de courant, d'étincelle ou de foudre, suit forcément le métal et se diffuse, sans danger pour l'édifice, dans la terre.

Dans aucun système on ne peut songer à modifier les principes, les lois physiques sur lesquels s'est appuyé Franklin pour la conception de son paratonnerre.

C'est à ce savant qu'il faudra toujours rapporter l'honneur et le bienfait de la préservation des coups de foudre, que l'Académie des sciences de Paris caractérisa en disant : ERIPUIT CŒLO FULMEN ! *Il a enlevé la foudre au ciel.*

Qu'on analyse tout ce qui a été écrit depuis Franklin et l'on sera bientôt convaincu que l'on n'a rien inventé en fait de paratonnerres, en tant qu'il s'agit de conduire la foudre à la terre, en lui traçant un chemin qui la rend inoffensive pour les édifices et leurs habitants.

Il y aura toujours à considérer dans le système de protection :

1° Un organe métallique aérien : barre à section prismatique, obtuse, cône, tige pointue, aigrette, sphère lisse ou hérissée de pointes, baïonnette, étoile, girouette, c'est-à-dire un dispositif dominant l'édifice ; ce réceptacle est chargé de recevoir directement le coup, mais il doit être disposé de façon à conduire la foudre là où elle ne peut plus être nuisible ;

2° Un conducteur métallique de n'importe quelle forme, verge ou baguette ronde, carrée, ruban, tube, corde, tresse, etc., en communication directe avec le réceptacle, sera la voie de l'écoulement de la foudre dans la terre, comme l'eau des toits s'écoule au sol par les conduites de descente ;

3° Mais il faut que ce conducteur se prolonge dans la terre dans un sol humide ou dans l'eau. On peut le terminer par un dispositif métallique quelconque, bien entendu sans aucune solution de continuité métallique.

S'agit-il d'appliquer ces principes de façon à réaliser les conditions les plus avantageuses pour parer les effets du feu du ciel, on peut se trouver en présence de solutions très différentes. En effet, indépendamment de la nature du sol sur lequel l'édifice repose et des matériaux constitutifs de cet édifice, nous devons porter notre attention sur le métal le plus convenable à employer. De plus, il est essentiel de discuter les dispositions à donner aux dispositifs extérieurs qui, dirigés vers les nuées, sont, par cela même, souvent condamnés à être frappés les premiers. Puis viennent les diverses dispositions à donner aux conducteurs en communication avec le *réservoir commun*, celle de la terminaison ou racine souterraine. Aussi

que de noms illustres dans la science n'aurait-on pas à citer, en Allemagne, en Amérique, en Angleterre, en Autriche, en France, en Italie et en Russie, parmi les savants qui depuis Franklin, en 1752, se sont occupés de la question ! Que d'instructions diverses à rappeler, que de préjugés à combattre au début, que de luttes à mentionner !

Les instructions adoptées par l'Académie des sciences de Paris, en 1823 (Gay-Lussac, rapporteur), en 1854-1855 (Pouillet, rapporteur), et en 1867-1868 (Pouillet, également rapporteur), se rapportent au système généralement suivi sur le continent.

Mais, depuis 1823, nos édifices modernes ont subi, eu égard aux effets électriques possibles ou capables de dévier la foudre de sa route ordinaire le long des conducteurs, des modifications profondes par suite de l'emploi de masses, parfois énormes, de fer dans les bâtiments et de canalisations métalliques pour le gaz et l'eau, lesquelles se rendent souvent jusqu'aux combles, en s'épanouissant ensuite dans le sol par des surfaces énormes.

Si tout se justifie dans les instructions de l'Académie, si elles ont été acceptées presque partout, il n'en est pas moins vrai que des accidents sont arrivés faute d'avoir tout prévu pour la protection ; je citerai le cas du coup de foudre à la caserne du Prince-Eugène, munie de 7 tiges élevées (2 août 1862). Il y a une foule d'exemples semblables, et quelques critiques parfaitement fondées jettent un doute sérieux sur l'efficacité *absolue* des paratonnerres de l'ancien système.

Bien qu'entre l'ancien système et le mien il n'y ait, au fond, aucune différence essentielle, quant aux principes, il existe toutefois des différences notables dans les détails d'exécution.

Ces modifications peuvent se rapporter à une ancienne maxime : DIVIDE ET IMPERA ; *diviser pour régner*. Dans l'espèce, diviser les conducteurs pour augmenter leur efficacité.

J'ai donc divisé, ou multiplié la partie aérienne, la pointe ; j'ai divisé et multiplié le conducteur ; j'en ai fait autant pour la racine, ou le raccordement à la terre. Au lieu d'employer un canal unique pour l'écoulement, un seul lit de rivière, je l'ai ramifié en un véritable *delta*, qui, à mon sens, a pour con-

séquence une distribution plus large et mieux répartie de ce que l'on est convenu d'appeler le fluide électrique.

Par là j'ai cherché à imiter ce que la nature fait pour l'arbre, en divisant ses branches, en le munissant de feuilles destinées à soutirer, par une grande surface, la force de la lumière, de la chaleur, et même de l'électricité émanant du soleil; j'ai cherché de plus à imiter ce que la nature a fait à l'égard de la racine du végétal en la ramifiant pour faciliter l'absorption des sucs nourriciers de la terre.

On comprend aisément que, si au lieu d'un conducteur unique et de forte section, difficile à manier et à poser, on en prend plusieurs de faible section chacun, il sera plus facile de placer et de manier ceux-ci; on pourra les enchevêtrer et l'on finira ainsi par constituer une véritable cage métallique à mailles aussi serrées que l'on voudra.

On peut se demander si une pareille cage préserve effectivement le bâtiment. Or voici une expérience considérée comme probante par toutes les personnes qui la voient une première fois.

On charge une grande batterie de Leyde assez fortement pour que sa décharge, au moyen de l'excitateur, soit capable de tuer ou de donner une secousse dangereuse et même mortelle à un animal : lapin, cobaye ou oiseau; on fait ensuite passer une décharge de même force dans une de ces petites sphères creuses à mailles serrées en fil de fer étamé (dans lesquelles les ménagères cuisent le riz), après y avoir introduit un petit oiseau, un poisson, une grenouille, etc., et cela sans prendre la moindre précaution pour que l'animal ne touche pas le métal avec lequel il est en contact immédiat. Eh bien, les animaux ne manifestent pas le moindre mouvement, ne témoignent d'aucune souffrance lorsqu'on fait passer la décharge. Il est évident, dès lors, qu'ils n'ont pas ressenti la plus petite secousse électrique.

On peut donner à cette expérience plusieurs formes, qui toutes prouvent que l'intérieur de la cage reste indemne de toute manifestation électrique sensible ou dangereuse. Dans mon système, la cage sphérique métallique de l'expérience précédente représente le paratonnerre protégeant l'édifice et ses habitants.

MÉTAUX EMPLOYÉS DANS LA CONSTRUCTION DES PARATONNERRES.

Quel est le métal qui conviendra le mieux à la protection contre la foudre?

Dans la pratique, deux métaux sont employés à l'exclusion de tous les autres : le cuivre et le fer, ou mieux le fer galvanisé, zingué.

Le cuivre est un excellent conducteur de l'électricité; il conduit le courant électrique de la pile 6 ou 7 fois mieux que le fer; mais, lorsqu'il s'agit d'étincelles ou de courants instantanés, j'ai démontré que ces décharges passent aussi facilement par le fer que par le cuivre, à longueurs et à sections égales pour ces deux métaux. Jusqu'à ces derniers temps, on n'avait pas mis en doute mes expériences faites en 1865, et cependant on continuait à soutenir que le cuivre était préférable, à cause de sa plus grande conductibilité. Aujourd'hui, on veut bien admettre qu'en général, un paratonnerre en fer galvanisé est aussi convenable qu'un paratonnerre en cuivre. A la vérité, ce dernier se conserve mieux à l'air; mais, étant d'un prix bien supérieur à celui du fer, il tente les voleurs, quand il se trouve dans des lieux faciles à atteindre. Aussi que de paratonnerres interrompus par suite de vols commis et, par conséquent, devenus une cause de danger au lieu d'une arme défensive.

Le cuivre, cependant, en raison de son excellente conductibilité et de sa conservation à l'air, présente quelques avantages pour la terminaison aérienne du paratonnerre, surtout si on lui donne la forme d'une pointe déliée.

Il est encore certains cas particuliers dans lesquels le cuivre peut offrir quelques avantages, par exemple, lorsqu'il s'agit des paratonnerres des navires, conformément au système de sir William Snow Harris. Ce système a rendu de grands services à la marine britannique. En général, le fer zingué suffit, même à l'état de conducteurs déliés. En Amérique et sur le continent, le fer zingué est ordinairement employé pour les conducteurs; en Angleterre on emploie plus souvent le cuivre. Je me demande si les nombreuses réclames faites en sa faveur ne sont pas pour beaucoup dans son emploi très répandu en Angleterre, où le fer zingué compte encore des partisans auto-

risés et désintéressés qui, comme les académies de Belgique, de Berlin et de Paris, admettent que son emploi est aussi efficace que celui du cuivre.

J'ignore si, dans les phénomènes naturels de l'électricité atmosphérique, il peut se présenter, sur des conducteurs massifs en fer et en cuivre, des actions analogues à celles que j'ai démontrées pour les décharges de fortes batteries passant dans des fils très minces et très longs de cuivre et de fer. Contrairement à ce qui est admis, en général, on voit le fer résister mieux à la rupture, à la fusion et à la dispersion que le cuivre.

Il y aurait à tenir compte, dans l'étude de ces phénomènes que j'espère continuer, des rapports que ces métaux offrent, eu égard à leur densité, à leur fusibilité, à leur ténacité, à leur capacité calorifique, à leur conductibilité pour la chaleur et l'électricité, facteurs qui interviennent nécessairement lorsque l'électricité, à haute et à faible tension, traverse des fils de cuivre et de fer de mêmes dimensions.

Je ne connais qu'une seule observation qui permette de dire que le fer peut résister, sans détérioration, à un coup de foudre, alors qu'un fil de cuivre de même diamètre ne résiste pas. — On sait, en effet, que les fils de fer de $6^{mm},045$ (n° 6 de la Jauge de Birmingham) ont résisté aux nombreux coups de foudre qui frappent, en Angleterre, les poteaux télégraphiques (observations de M. W.-H. Preece), tandis que je lis dans les *Verhandlungen der königlich preussischen Akademie der Wissenschaften*, année 1876, qu'un fil de cuivre de 6 millimètres a été fondu à plusieurs places, bien qu'une partie du courant électrique froudroyant pût se ramifier dans le bâtiment et se rendre au sol sans passer par le conducteur.

Sans entrer dans des considérations plus développées, je me bornerai à rappeler que, depuis Gay-Lussac, on a toujours admis que les conducteurs et les raccordements à la terre pouvaient être en fer.

Examinons maintenant la forme du dispositif terminal aérien.

POINTES.

La terminaison aérienne supérieure, proposée par Franklin, était une pointe aiguë; mais on a successivement proposé des

terminaisons plus ou moins obtuses. Dans mon ouvrage sur les paratonnerres j'ai discuté toutes les formes proposées, depuis la pointe plus ou moins effilée jusqu'à la sphère.

En général, c'est la pointe qui a prévalu ; elle est toujours employée, mais elle reçoit des formes assez variées et, souvent, au lieu de la pointe unique de Franklin, on fait usage de pointes multiples, sortes d'aigrettes de grande dimension.

Disons toutefois que des savants considérables ont fait, dès Franklin, une forte opposition à l'emploi des pointes; ils ont proposé des terminaisons en boule, entre autres ; cependant l'action des pointes sur les corps électrisés (action en dehors de toute discussion et que l'on est autorisé à appliquer au cas des nuages orageux) nous apprend que ces pointes soutirent tranquillement l'électricité aux nuages ou envoient aux nuages de l'électricité soutirée à la terre, ce qui les a fait adopter.

Les pointes sont admises, même par les physiciens qui, tout en leur refusant une action préventive énergique, sont bien obligés de leur reconnaître une action, si faible qu'elle soit ; il ne faut donc pas la dédaigner, lorsqu'il s'agit de phénomènes dans lesquels de légères poussières, des courants d'air plus ou moins chauds, plus ou moins humides, peuvent occasionner des déviations de la foudre.

Les pointes ou les tiges employées en France ont une hauteur de 5 à 10 mètres au-dessus du faîte du bâtiment. Habituellement les hauteurs moyennes de 6 à 8 mètres suffisent. Quant à leur emplacement et à leurs distances relatives, les règles posées par les instructions de l'Académie de Paris ne sont pas absolument explicites; elles laissent une certaine latitude aux constructeurs et un doute qui peut conduire à l'arbitraire.

Une première question se présente, si l'on adopte la pointe formant un cône ou tronc de cône plus ou moins aigu, au haut de la tige, depuis le cône dont le rayon de base est égal à la hauteur, jusqu'aux tiges effilées à partir de leur point d'attache au conducteur où elle n'a guère que 3 à 4 centimètres et demi de diamètre ; en général, on termine les tiges par un fer carré aminci et arrondi à la partie supérieure d'après les instructions de l'Académie.

Pourquoi a-t-on donné aux tiges une hauteur si considérable ? La réponse est facile : on a admis qu'une pointe (comme Franklin et beaucoup d'autres après lui l'admettaient) exerce une action *préventive* et qu'ensuite, elle protège contre l'action de la foudre une zone proportionnelle à sa hauteur. Cependant les observations ont démontré qu'il fallait rétrécir cette zone, fixée, dans l'instruction de Gay-Lussac, à un cercle d'un rayon double de la hauteur de cette tige et passant par le centre. Or cette prétendue zone de protection présente, de l'avis de tous les physiciens, beaucoup d'arbitraire. Aussi a-t-elle été constamment restreinte depuis Gay-Lussac. En définitive, quelque faible qu'on la prenne, elle n'est pas de nature à être admise sans contestation. Je crois impossible, dans l'état actuel de la science, de tracer la limite précise de cette zone, ou de ce cercle de protection.

La question de la hauteur à donner aux tiges m'a vivement préoccupé ; je l'ai discutée dans diverses publications ; ma conclusion était forcée : les hautes tiges ne sont ni nécessaires ni indispensables ; elles peuvent être remplacées par des pointes nombreuses, courtes, effilées, faciles à établir et à mettre en communication avec le conducteur.

Mais, au lieu d'employer une seule tige longue et pointue, d'un placement coûteux, j'ai fait voir qu'il était plus avantageux d'employer des aigrettes à six ou sept pointes hautes de 1 mètre à $1^m,50$, ou 2 mètres et plus, et d'en multiplier le nombre sur les conducteurs, ce qui peut se faire à très peu de frais. En effet, une dizaine d'aigrettes en cuivre d'un mètre ne coûtent pas autant, avec leur soixante à soixante-dix pointes effilées, qu'une seule tige de l'ancien modèle et, si l'on se contente de fer galvanisé travaillé en pointe, deux ou trois cents pointes, dispersées sur le faîte des édifices sous forme d'aigrettes à cinq, six ou sept pointes effilées, ne coûtent pas autant qu'une tige unique de hauteur moyenne.

Il suffit de jeter un coup d'œil sur les paratonnerres exposés au palais des Champs-Élysées, pour apprécier ces différentes formes et avoir une idée générale et complète de tous les systèmes de pointes ou de tiges : pointes en cônes plus ou moins obtus (de l'Académie), pointes multiples diverses, plus ou moins longues, sphère garnie de pointes multiples

assez courtes, etc. — et, ensuite, les aigrettes de mon système. Je me garderai bien de faire la moindre critique: indépendamment de pointes assez longues que je conseille de placer sur le faîte des dômes, des flèches, des tours, j'emploie, en général, des aigrettes assez courtes, de $0^m,50$ à $1^m,50$ et même 2 mètres, dont les pointes sont inclinées à 45° et étalées en éventail ou en corbeille, autour de la pointe centrale plus longue que les autres; elles ont de 6 à 8 millimètres de diamètre à la base. On peut les prendre en cuivre ronge ou en fer zingué; on peut employer aussi un fil de fer zingué, terminé par une pointe effilée en cuivre rouge, disposition analogue à celle employée par l'Académie pour les grandes tiges.

On me permettra de constater que les aigrettes en cuivre rouge de l'hôtel de ville de Bruxelles, placées en 1865, sont encore parfaitement intactes aujourd'hui; aucune n'est émoussée, et, malgré leur délicatesse, elles ont parfaitement résisté au terrible ouragan du 12 mars 1876.

On pourrait, à la rigueur, admettre que les pointes n'exercent sur les nuages orageux qu'une action assez faible, et cependant il faut bien admettre que, d'après les expériences de Buffon, de Canton, de Dalibard, de Delor et de Lemonnier, le pouvoir des pointes doit être admis. Les expériences et les observations de Beccaria, de Charles, de Cosson, du docteur Lining, de De Romas et de Toaldo sont telles, que l'on est autorisé à admettre que les pointes peuvent transformer les nuages orageux en nuages ordinaires.

Arago, dans sa remarquable notice sur le tonnerre, arrivait, d'après les observations et les expériences de Beccaria, à la conclusion que *la quantité de matière* (fulminante ou de foudre) *enlevée à l'orage dans le court espace d'une heure eût suffi pour tuer plus de trois mille hommes.*

Pourquoi de nombreuses tiges courtes peuvent-elles avantageusement remplacer de longues barres de 5 à 10 mètres de hauteur?

Il y a faire intervenir les considérations suivantes :

1° Les doutes légitimes existant sur la valeur réelle de la zone ou du cercle de protection;

2° La hauteur des tiges, toujours très faible, si on la com-

pare à la distance et à l'étendue des nuages orageux; cette hauteur disparaît ou s'évanouit dans les résultats définitifs des calculs, si l'on applique les lois de Coulomb. M. W.-H. Preece, en 1872, a émis la même idée;

3° L'analyse de Poisson sur la distribution de l'électricité à la surface des conducteurs.

Je ne sache pas qu'il y ait lieu de comparer la hauteur de la tige à la hauteur de l'édifice lui-même, ce qui serait peut-être une question d'expérience et d'analyse à examiner;

4° La considération que la foudre, dans la plupart des cas, ne frappe pas une seule partie, un seul point des parties élevées des corps; le plus souvent, ce n'est pas une étincelle unique, mais sous forme de nappe, avec un ou quelques centres principaux d'intensité, qu'elle atteint et foudroie les corps terrestres en les enveloppant. C'est ce qu'admet M. le professeur Daniel Colladon à la suite de ses nombreuses observations;

5° Il paraît incontestable que la tension doit être diminuée considérablement sur un conducteur armé de pointes nombreuses. Or toute cause qui tend à diminuer cette tension est de nature à permettre un écoulement plus facile, plus prompt, vers le réservoir commun ou même en sens inverse, du réservoir commun vers le ciel. Perrot a prouvé que, la tension augmentant sur un conducteur, celui-ci devient foudroyant pour les corps voisins;

6° Il y a lieu de signaler un fait qui se présente assez souvent pour qu'on en tienne compte. Je veux parler de l'éclair en boule.

On a souvent constaté l'inefficacité des paratonnerres anciens contre la chute de la foudre globulaire; or, M. Gaston Planté admet que les paratonnerres à pointes multiples, agissant sur un grand nombre de points de l'atmosphère, sont plus efficaces que les paratonnerres de grande hauteur et à pointe unique; ses expériences militent en faveur des paratonnerres à pointes multiples, proposés par Perrot et par moi; quelques-unes d'entre elles appuient particulièrement la disposition en corbeille ou en éventail de pointes, adoptée pour les paratonnerres de l'hôtel de ville de Bruxelles;

7° M. Gavaret, professeur de physique à la Faculté de médecine, après avoir répété les expériences de Perrot, disait, dès 1865 : « Il n'est plus permis aujourd'hui d'établir des paratonnerres à une seule pointe; »

8° Les pointes multiples, on ne doit pas l'oublier, remplissant un double rôle que Franklin avait parfaitement défini dès 1747; elle *soutirent* le feu électrique des nuages pour le disperser dans la terre, mais elles peuvent aussi le *rejeter* vers le ciel. Le plus souvent on ne distingue pas suffisamment ces deux cas dans les descriptions des coups de foudre que l'on rencontre dans les livres. La distinction entre la foudre *ascendante* ou *descendante* n'est pas toujours facile à faire d'après l'observation des dégâts produits. C'est une lacune que l'avenir comblera sans doute, si l'on se conforme aux vœux du congrès : 1° *préciser les méthodes d'observation pour l'électricité atmosphérique; 2° réunir les éléments statistiques relatifs à l'efficacité des paratonnerres des divers systèmes et à l'action préservatrice ou nuisible des réseaux télégraphiques ou téléphoniques.*

Je me permettrai, à cette occasion, de signaler l'emploi du *rhé-électromètre* de Marianini, appareil auquel j'ai donné une forme simple et peu coûteuse, qui permet de l'intercaler dans les paratonnerres comme dans les réseaux de fils télégraphiques et téléphoniques; il indique le sens des courants et nous permet de préciser les cas où *la terre foudroie le ciel* et ceux où *le ciel ou les nuages foudroient les objets terrestres.*

J'ajoute que j'ai décrit un cas de foudre ascendante, en donnant la preuve expérimentale que la gare d'Anvers avait foudroyé le ciel, le 10 juillet 1865.

Quand on examine ce que les savants ont écrit sur la question des pointes, on est arrêté par une circonstance délicate. Ainsi le savant professeur P.-T. Riess pensait *qu'un faisceau de pointes est moins actif qu'une pointe unique.* Il me paraît incontestable que lorsque les pointes d'une aigrette sont différemment inclinées, lorsque ces aigrettes sont dispersées sur d'assez grandes distances, on ne peut plus leur appliquer la sentence de P.-T. Riess. Des pointes multiples divergentes, situées à des distances assez grandes et dans les plans différents d'un édifice, ne doivent pas exercer une ac-

tion comparable à celle d'un faisceau (*Bundel*) de pointes juxtaposées.

Dans les questions qui touchent au bon fonctionnement du paratonnerre, l'observation bien faite et bien décrite a une importance considérable.

A cet égard, il y a lieu de mentionner une observation publiée en 1875 par M. R.-J. Mann, président de la Société météorologique de Londres. Il a constaté, à Pietermaritzburg, dans le Natal, après l'établissement provoqué par lui d'un grand nombre de paratonnerres armés de nombreuses pointes, que les chutes de foudre, fréquentes avant son arrivée, étaient devenues très rares depuis.

Ces observations correspondent à une durée de plusieurs années.

N'est-il pas naturel d'appliquer à un édifice une donnée jugée favorable pour une ville entière où fonctionnaient de nombreux paratonnerres armés de pointes sous forme de balais étalés et ne comprenant pas moins de quarante-deux pointes juxtaposées pour chaque conducteur?

Je crois donc m'accorder avec les faits et les observations en adoptant les pointes multiples.

Je laisse aux savants électriciens et parafoudriers le soin d'apprécier si j'ai raisonné juste et appliqué logiquement les principes de la science, à ce point particulier de mon système de pratonnerres.

CONDUCTEURS NOMBREUX, MAIS DE FAIBLE SECTION.

A l'appui de l'inutilité des conducteurs à grande section, je citerai l'opinion de M. W.-H. Preece, membre du congrès, électricien en chef de l'administration des télégraphes en Angleterre. M. Preece disait, en s'appuyant sur les observations faites en Angleterre sur les poteaux télégraphiques, *qu'un conducteur en fer* de 4 à 6 millimètres de diamètre était parfaitement suffisant pour une habitation ordinaire; suivant lui, il n'y avait pas lieu de s'astreindre à l'emploi de conducteurs massifs à grande section; il ajoutait que *l'emploi d'un tel conducteur était comparable à la construction d'un égout en tunnel, alors qu'un petit tuyau de drainage pouvait être suffisant.*

C'est, en partie, au moins, ce principe que j'avais appliqué dès 1865 à l'hôtel de ville de Bruxelles; mais, par excès de prudence, j'avais employé huit conducteurs de 10 millimètres de diamètre pour protéger la tour et la flèche, et des conducteurs de 6 et 8 millimètres, parcourant le faîte de tous les toits. Aujourd'hui je recommande, en général, l'emploi des conducteurs de fer zingué de 8 millimètres, facile à poser, à courber et à onduler en vue de la dilatation, en leur faisant suivre tous les contours des bâtiments. — Avant de me décider en faveur des conducteurs pareils, j'ai cru devoir compulser toutes les descriptions de coups de foudre depuis Franklin, surtout lorsque la foudre passait dans un conducteur délié. J'étais arrivé à admettre le principe que Gay-Lussac pose dans son instruction, en tenant compte, bien entendu, des cas où les fils minces étaient détruits, mais avaient néanmoins préservé les édifices. Les paroles de cet illustre physicien méritent d'être citées.

« Quant au conducteur du paratonnerre, une barre de fer de 16 à 20 millimètres en carré est suffisante. On pourrait même le faire plus petit et se servir d'un simple fil métallique, pourvu que, arrivé à la surface du sol, on le réunît avec une barre métallique de 10 à 13 millimètre en carré, qui s'enfonçât dans l'eau ou dans une couche humide. Le fil, à la vérité, serait dispersé par la foudre, mais il lui aurait tracé sa direction jusque dans le sol et l'aurait empêchée de se porter sur les corps environnants. Au reste, il sera toujours préférable de donner au conducteur une grosseur suffisante pour que la foudre ne puisse jamais le détruire, et nous ne proposons de le réduire *à un fil* de métal que pour diminuer les frais de construction des paratonnerres et les mettre à portée de toutes les fortunes. »

Je crois avoir largement réalisé la pensée de Gay-Lussac, en employant du fer mince, mais capable de résister à un coup foudroyant, quelle que soit son intensité, à moins, comme le disait Franklin, *que Dieu, pour nos péchés, ne trouvât bon de nous envoyer une pluie de feu, comme sur quelques cités anciennes, auquel cas il ne faudrait pas s'attendre à voir nos conducteurs, de quelque taille qu'ils fussent, protéger nos maisons contre un miracle.*

Eu égard à la tension électrique d'un coup de foudre sur un fil, eu égard aux faibles frais, je me suis décidé à employer plusieurs fils, et, avant la pose du premier paratonnerre de mon système, j'ai tenu à démontrer le partage d'une étincelle unique entre 400 conducteurs métalliques de conductibilités très différentes (dans les rapports de 1 à 8), de diamètres variables entre 0m,0063 et 0m00008 dont les sections sont entre elles dans le rapport de 62 à 1 ; j'ai même pu intercaler dans ces très minces conducteurs métalliques des conducteurs médiocres, tels que eau pure, eau ordinaire, terre humide, terre ou sable secs. Or ces expériences m'ont prouvé la divisibilité parfaite de l'étincelle. Elle aura lieu, en conséquence, lors d'un coup de foudre, entre les quelques conducteurs métalliques d'un paratonnerre. Mes expériences ont, de plus, prouvé que dans des fils homogènes de même longueur, les détériorations, lorsqu'il s'en produit, sont les mêmes pour tous, c'est-à-dire que le partage est absolument proportionnel au nombre de conducteurs, ou que l'énergie mécanique reste la même pour tous. Sir William Snow Harris avait, dès 1834, prouvé par l'expérience que les décharges de fortes batteries passant par un seul fil pouvaient le fondre, tandis que si la décharge passait par deux fils, elle ne les fondait plus ou qu'elle les fondait simultanément tous les deux.

RACCORDEMENTS TERRESTRES.

De l'avis unanime de tous les savants qui se sont occupés des paratonnerres, la question du raccordement des conducteurs avec la terre est incontestablement la plus importante. Elle réclame l'attention la plus sévère dans ses dispositions ; qu'on lise les nombreuses descriptions de coups de foudre sur des bâtiments munis de paratonnerres, et l'on sera convaincu qu'en général, c'est a un défaut de communication avec la terre que doivent être attribués les dégâts produits par la foudre. On se trouve toujours en présence d'un contact à l'eau, ou au sol humide, de trop faible section et parfois mal établi. — S'agit-il de coups latéraux, qui se produisent souvent, du paratonnerre vers les conduites de gaz ou d'eau, on s'en rend parfaitement compte, en raison de la surface considérable du contact de ces conduites avec le sol, lorsqu'on la

compare avec celle d'un simple puits, tel qu'il est ordonné et disposé conformément aux instructions de l'Académie des sciences et de la commission spéciale chargée d'étudier l'établissement des paratonnerres des édifices municipaux de Paris. — Malgré l'opposition de quelques commissions officielles scientifiques et de quelques savants, on admet aujourd'hui l'utilité et la convenance de la liaison des conducteurs des paratonnerres avec les canalisations de gaz et d'eau. Des savants illustres, des commissions académiques et des sociétés, s'occupant de la question des paratonnerres, s'accordent pour adopter ces principes. — On a prouvé par des observations bien faites qu'il est plus avantageux pour l'édifice, comme pour les conduites de gaz et d'eau, de rattacher celles-ci aux conducteurs des paratonnerres que de les laisser isolées. On sait, en effet, que des conduites ont été endommagées à la suite de coups de foudre, ce qui, sans doute, n'aurait pas eu lieu si on les eût fait communiquer avec des conducteurs terminés en pointe.

Il résulte des observations continuées, pendant plus de vingt ans en Amérique, par M. David Brooks, qu'aucun dommage n'est résulté de la liaison des conducteurs des paratonnerres aux conduites de gaz on d'eau, tandis que l'on a signalé une foule d'accidents plus ou moins graves quand cette liaison a fait défaut.

Il me semble que l'on peut hardiment affirmer aujourd'hui que cette liaison doit être surtout recommandée en vue d'éviter des coups latéraux ou des déviations dangereuses de la foudre vers ces conduites, les fers ou les métaux qui, actuellement, entrent dans les constructions.

Je m'arrête un instant à la question de l'emploi des métaux dans les édifices, car elle se rattache à la considération des canalisations de gaz et d'eau.

J'ai fait voir dans mes publications sur les paratonnerres que, s'il importe de raccorder toutes les masses métalliques, tant intérieures qu'extérieures, avec les conducteurs, il est non moins utile d'établir ces communications de façon à former des *circuits fermés* avec les conducteurs du paratonnerre. J'ai appelé l'attention sur les distinctions à établir entre les métaux intérieurs et ceux qui se trouvent à l'extérieur, tels

que faîtages, toits métalliques, chéneaux, gouttières, etc. ; de même entre les métaux intérieurs : 1° des combles et des étages supérieurs ; 2° des métaux rapprochés des conducteurs, et 3° des métaux qui se trouvent vers le rez-de-chaussée ou les caves, souvent peu distants les uns des autres, enfouis dans des maçonneries plus ou moins humides et médiocrement conductrices, ou non loin des puits, des pompes et des conduites d'eau et de gaz.

Je crois pouvoir affirmer que lorsque le paratonnerre possède le raccordement tel qu'il assure une communication parfaite et assurée avec la terre par une large surface, il est quelques parties métalliques qu'on peut laisser, sans danger, en dehors du système des conducteurs.

On est parfois obligé d'en agir ainsi, et j'ai dû le faire, quelquefois à regret, à cause des difficultés que je rencontrais pour établir ce raccordement dans les édifices achevés.

Ces difficultés, que l'on rencontre particulièrement lorsqu'il s'agit de protéger un bâtiment déjà achevé, disparaîtraient si l'on prévoyait la pose d'un paratonnerre dès les fondations des édifices importants. Dans ce dernier cas, il est non seulement facile de faire communiquer toutes les masses métalliques entre elles par des circuits fermés ; mais tous les métaux deviennent ainsi une série de conducteurs nombreux *adventifs ;* la pose des conducteurs devient simple, facile et peut se faire à moindres frais.

Je cite, dans mes publications, un exemple frappant où des millions de kilogrammes de fonte et de fer ont été laissés en dehors du système des conducteurs ; en même temps je fais voir combien il eût été facile de les rattacher, presque sans frais, au système général de la construction et des conducteurs des paratonnerres, tout en consolidant l'édifice.

A l'égard du raccordement avec la terre, les métaux qui conduisent la foudre peuvent se comparer aux lits des fleuves, par lesquels l'eau coule à la mer, leur réservoir commun ; mais, avec des sections égales, les métaux, d'une part, l'eau des sources, la terre humide, d'autre part, fournissent un écoulement plus ou moins facile à l'électricité.

Ici doit se placer une restriction assez importante. En effet, quand on cherche à se rendre compte de la conductibilité des

métaux pour l'électricité, ou de la résistance qu'elle éprouve à s'écouler par des conducteurs de même section, de même longueur, mais de nature métallique différente, on mesure cette conductibilité ou cette résistance relative au moyen de la pile ; celle-ci donne un courant électrique de faible tension, or l'étincelle électrique foudroyante, ou la foudre, possède une tension relativement beaucoup plus considérable, et, par suite, les coefficients déterminés d'après le courant de la pile ne sont pas absolument applicables aux cas de foudre.

Je crois l'avoir prouvé dès mes premières études, en 1865, en faisant voir qu'une étincelle passe avec autant de facilité par un conducteur en fer que par un conducteur en cuivre, qui, cependant, conduit six ou sept fois mieux le courant de la pile que le fer, ou qui lui offre une résistance six ou sept fois moindre. Ainsi l'instantanéité de la décharge ou du courant modifie la conductibilité. Mais nous ne connaissons pas aujourd'hui la valeur de ce coefficient, que l'avenir déterminera, tant pour la conductibilité du métal que pour celle des conducteurs dont nous avons à tenir compte. Je veux parler de l'eau et de la terre humide.

La résistance du fer étant représentée par l'unité, celle de l'eau ordinaire, d'après MM. Becquerel et Pouillet, devra être représentée par 1.000.000.000 (un milliard), tandis que quelques physiciens admettent que celle de la terre humide serait sensiblement représentée par 4.000.000.000, ou environ le quadruple. Il résulte de ces données qu'un paratonnerre ayant un conducteur métallique d'un centimètre carré de section devrait, pour transmettre *absolument librement* à l'eau (c'est-à-dire sans autre résistance que celle qui lui est offerte par le fer, bon conducteur) l'électricité qui le parcourt, ou la foudre qui le frappe, être terminé par une plaque de fer de 225 mètres de côté, et immergé par ses deux faces. Pour réaliser ces mêmes conditions dans un sol humide, cette plaque ne devrait pas avoir moins de 450 mètres de côté. — Ces conditions sont absolument irréalisables dans la pratique.

Il faut donc se rapprocher, autant que la pratique le permet, de cette donnée irréalisable, en augmentant, par tous les moyens dont on dispose, la surface de contact avec l'eau ou le sol humide, en augmentant les surfaces de l'organe qui

constitue le paratonnerre souterrain dans le puits, et surtout en rattachant les conducteurs de paratonnerres aux immenses ramifications des deux canalisations métalliques du gaz et de l'eau.

Pour l'hôtel de ville de Bruxelles, j'ai employé, dans le puits, un tube de fonte offrant 10 mètres carrés de surface, 20 fils de fer pointus de 5 mètres de long et de 12 millimètres de diamètre dont la surface immergée équivaut à 4 mètres, soit 14 à 15 mètres, non compris huit grandes lames de charbon des cornues à gaz de $0^m,35$ de largeur sur une longueur de plus d'un mètre ; des dérivations des conducteurs sont en outre en communication avec les canalisations du gaz et de l'eau.

COUT DE LA POSE DES PARATONNERRES.

Il me reste à examiner un dernier côté de la question, c'est le côté économique. Il est évident que la question d'*efficacité* prime tout le reste ; mais, la sûreté étant acquise, il importe de se rendre compte des frais.

Dès 1823, Gay-Lussac cherchait les moyens de mettre les paratonnerres, trop coûteux à son époque, à la portée de toutes les fortunes. En Écosse, d'après l'illustre professeur et électricien sir William Thomson, les grands manufacturiers prétendent qu'il est moins coûteux d'assurer les bâtiments que de les munir de paratonnerres. L'illustre professeur, M. Helmholtz, demandait au congrès un examen approfondi de la question du bon marché ; il avait d'abord cru que les paratonnerres de mon système étaient plus coûteux que ceux des systèmes anciens.

Je crois avoir éclairé la question d'économie en donnant les devis et les sommes payées pour l'établissement de quelques paratonnerres établis dans ces dernières années en Belgique.

Les paratonnerres devant couvrir et protéger une superficie donnée de bâtiments, abstraction faite des édifices munis de clochers et de flèches, leurs prix peuvent être évalués comparativement, d'après le nombre de mètres carrés de surface couverte protégée. Le prix du mètre carré, pour les paratonnerres construits conformément à l'ancien système, d'après

les instructions françaises, a varié, en Belgique, pour six grands monuments, de 3f,02 à 9f,68, avec une moyenne générale de 4f,46, tandis que le prix de trois paratonnerres de mon système n'a été que de 0f,47 à 0f,77, soit en moyenne 0f,66 par mètre carré de surface protégée.

J'ai dit et je crois pouvoir maintenir que les détails que j'ai donnés suffisent pour mettre tout ouvrier serrurier ou forgeron intelligent à même de construire un paratonnerre, et tout propriétaire soigneux à même d'en surveiller le bon établissement.

Voici l'exemple d'un paratonnerre établi sur une grande ferme chez un de mes amis, qui l'a fait poser par des ouvriers ordinaires; il a employé du fil de six millimètres en fer galvanisé. Le paratonnerre a été muni de 36 aigrettes, soit 216 pointes, 11 contacts à la terre, dont deux à deux puits différents et deux à un étang; le circuit des faîtes, qui se trouvent dans neuf plans horizontaux différents, a plus de 300 mètres de développement; la profondeur moyenne des bâtiments peut être estimée à sept mètres, soit en nombres ronds une surface couverte de 2.000 mètres carrés. Or le tout a coûté environ 400 francs, soit 0f,20 par mètre carré de surface couverte. Je me crois donc autorisé à dire : *Partout, dans les villes comme dans les campagnes, on pourra dorénavant se donner le* LUXE *de faire armer son habitation d'un paratonnerre, pour se mettre à l'abri de la foudre, tout comme on se donne le luxe d'un foyer, pour se garantir du froid et d'une cheminée pour expulser au dehors les produits nuisibles de la combustion du bois ou de la houille.*

CONCLUSION.

En résumé, je crois établi que le système de paratonnerres que j'ai proposé réalise à un plus haut degré l'action *préventive* et *préservatrice* d'un *parafoudre*, et qu'il est moins imparfait que ceux établis jusqu'à ce jour.

J'attends avec calme le jugement que l'avenir portera et la démonstration fournie par les relevés statistiques dans les divers pays, conformément au vœu émis par le Congrès international des électriciens en 1881.

CHRONIQUE.

Laboratoire central d'électricité.

M. le ministre des postes et des télégraphes a institué une commission spéciale pour l'étude de l'organisation et du fonctionnement du laboratoire central d'électricité.

Cette commission est composée ainsi qu'il suit :

MM.

Songeon, président du conseil municipal de Paris.

Dumas, membre de l'Institut, secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences.

Alphand, directeur des travaux de Paris.

Jamin, membre de l'Institut.

Le colonel Perrier, membre de l'Institut et du bureau des longitudes.

Bréguet, membre de l'Institut et du bureau des longitudes.

Tisserand, conseiller d'État, directeur au ministère de l'agriculture.

Mascart, professeur au Collège de France, directeur du bureau central météorologique.

Becquerel, ingénieur ordinaire des ponts et chaussées, répétiteur de physique à l'École polytechnique.

Fournier, capitaine de frégate, attaché à l'état-major du ministre de la marine et des colonies.

Penel, commandant du génie, attaché à l'état-major général du ministre de la guerre.

Mercadier, ingénieur-électricien, directeur des études à l'École polytechnique.

Bergon, directeur du matériel et de la construction au ministère des postes et des télégraphes.

Blavier, directeur de l'École supérieure de télégraphie, au ministère des postes et des télégraphes.

MM.

Boussac, inspecteur général chargé du service du contrôle au ministère des postes et des télégraphes.

Caël, directeur-ingénieur des télégraphes.

Georges Cochery, directeur du cabinet et du service central au ministère des postes et des télégraphes.

Fribourg, directeur du personnel au ministère des postes et des télégraphes.

Raynaud, ingénieur des télégraphes.

Trotin, ingénieur des télégraphes.

Académie des Sciences.

Prix Lacaze.

L'Académie des sciences a décerné, dans sa séance du 6 février 1882 le prix de physique de la fondation Lacaze (dix mille francs) à M. Gaston Planté pour ses importants travaux sur les piles secondaires. La commission se composait de MM. Fizeau, Becquerel, Jamin, Berthelot, Desains, Cornu, Bréguet et de M. du Moncel, rapporteur, qui a lu le rapport suivant :

« La commission est d'avis de décerner le prix de la fondation Lacaze (pour la physique) à M. Gaston Planté, auteur d'importants travaux relatifs à l'électricité.

« M. Planté a présenté à l'Académie, dès l'année 1859. ses premières recherches sur la polarisation voltaïque.

« En analysant avec soin les effets produits dans les voltamètres formés d'électrodes de divers métaux, comme l'avait fait Ritter, il a montré l'importance du rôle que jouait l'oxydation de l'électrode positive au point de vue de la production des courants secondaires.

« Les études faites antérieurement sur la polarisation voltaïque avaient eu surtout pour but d'empêcher sa production dans les piles dont elle constituait la principale cause d'affaiblissement, et cette cause avait été très heureusement neutralisée par M. Becquerel dans la pile à deux liquides et à courant constant.



« Se plaçant à un autre point de vue, M. Planté a cherché à mettre à profit les courants secondaires pour *accumuler* la force de la pile voltaïque.

« Ayant reconnu que la force électromotrice secondaire d'un voltamètre à lames de plomb dans l'eau acidulée par l'acide sulfurique était plus énergique et plus persistante que celle des autres métaux, il a été conduit à construire, en 1860, des couples secondaires d'une grande énergie, qui sont devenus classiques, et dont les applications se multiplient chaque jour.

« En étudiant attentivement les actions chimiques produites dans ces couples, M. Planté a pu en augmenter la capacité accumulatrice par une série d'opérations qu'il a désignée sous le nom de *formation*, leur a donné la faculté de conserver leur charge pendant longtemps, et il est parvenu de cette manière à obtenir, pour ainsi dire, l'*emmagasinement* de la force de la pile voltaïque, résultat dont l'industrie pourra tirer peut-être un grand parti.

« Considérant cet appareil au point de vue des analogies qu'il présente avec ceux qui servent en mécanique à accumuler les forces, M. Planté en a mesuré le *rendement*, et a reconnu qu'un couple secondaire convenablement *formé* constituait un *accumulateur* assez parfait du travail de la pile voltaïque. Il en a signalé de nombreuses applications, et tout porte à croire que l'on en réalisera de nouvelles.

« Non content d'accumuler le travail d'une pile primaire, M. Planté s'est appliqué à la *transformer*, de manière à obtenir une tension beaucoup plus élevée que celle de la source primitive, à l'aide de batteries ingénieusement disposées, et c'est ainsi qu'il est parvenu à développer, avec deux simples couples de Grove ou de Bunsen, une force électromotrice égale à 1200 de ces éléments, en chargeant une batterie de 800 couples secondaires disposés en surface et la déchargeant en tension conformément à la loi de Volta sur l'addition des forces électromotrices.

« Muni d'un appareil d'accumulation et de transformation d'une telle puissance, M. Planté a pu étudier les effets produits par des courants électriques de haute tension, et a observé un grand nombre de phénomènes nouveaux et

intéressants, parmi lesquels nous citerons la forme globulaire de l'étincelle elle-même, l'agitation globulaire des liquides autour de l'une des électrodes, son aspiration et son ascension dans des tubes ou sa projection en gerbes, suivant les conditions des expériences, la production de la lumière électro-silicique, l'attaque et la gravure du verre malgré sa nature isolante, etc. M. Planté a montré, en outre, par analyse, le rôle que devait jouer la *quantité* d'électricité jointe à la *tension* dans les grands phénomènes électriques naturels.

« Enfin M. Planté a cherché à transformer encore plus complètement le travail de la pile et à obtenir une tension équivalente à celle de l'électricité statique.

« Ce problème semblait déjà résolu sans doute par les appareils d'induction; mais M. Planté y est parvenu d'une autre manière, à l'aide d'un appareil formé d'une série de condensateurs à lames de mica chargés en quantité et déchargés en tension, qu'il a désigné sous le nom de *machine rhéostatique*.

« Il a obtenu ainsi une transformation plus complète que par l'induction (car le circuit du courant qui agit sur l'appareil n'est jamais complètement fermé), et une séparation plus parfaite de l'électricité positive et de l'électricité négative aux deux pôles. On a pu épuiser de cette manière, sous la forme d'effets statiques, une quantité d'électricité dynamique.

« Au moyen de sa machine rhéostatique, M. Planté est parvenu à obtenir des étincelles de $0^m,12$ de longueur à l'air libre, sous l'influence de sa batterie secondaire de 800 couples. Cette longueur est proportionnelle, du reste, au nombre des condensateurs de cette machine. Mais ce qui est le plus curieux dans les effets produits dans ces conditions, ce sont les formes toutes particulières que prend l'étincelle quand elle traverse de la fleur de soufre ou un mélange de soufre et de minium. Les images de ces étincelles, qu'il a pu fixer sur du papier, ont excité l'intérêt de tous les physiciens, car on peut y trouver quelques indications précieuses sur la manière dont se comporte, l'un par rapport à l'autre, les flux positif et négatif.

« Avec les décharges produites par la machine rhéostatique disposée en quantité, M. Planté est parvenu à produire des

étincelles diversement colorées, et certaines manifestations mécaniques de la décharge qui peuvent jeter un jour nouveau sur ces phénomènes si complexes.

« M. Planté ne s'est pas simplement borné à des expériences de laboratoire, il a publié en 1879, sur tous les phénomènes observés par lui, un volume très intéressant, savamment étudié, dans lequel la question des courants secondaires est traitée d'une manière complète, et les nombreuses expériences qu'il rapporte sont du plus grand intérêt.

« C'est aussi à M. Planté que l'électrolyse doit la substitution des électrodes en fils de plomb aux électrodes en fils de platine, qu'on croyait jusque-là indispensables, et l'industrie a tiré un grand parti de cette substitution.

« M. Gaston Planté, depuis plus de vingt ans, s'est occupé sans relâche de ces travaux, et, en raison de l'importance qu'ils ont acquis, la commission l'a jugé digne d'obtenir, cette année, le prix Lacaze.

Sur une perturbation magnétique.

Note de M. Mascart.

Une perturbation magnétique très importante s'est fait sentir en France pendant la plus grande partie de la semaine dernière. Les lignes télégraphiques aériennes ou souterraines, dans presque toutes les directions, ont été parcourues par des courants accidentels; à certaines heures, en particulier, le trouble apporté dans le service était si grand qu'il n'a été possible de transmettre les dépêches que par des circuits fermés, ne prenant contact à la terre qu'en un point. Les lignes internationales ont donné les mêmes résultats; il est donc probable que l'on se trouvait alors sous l'influence d'un orage magnétique d'une très grande étendue et que les effets ont pu en être observés dans tout l'hémisphère Nord.

Les phénomènes de cette nature sont de la plus haute importance pour la connaissance du magnétisme terrestre ; c'est

par l'étude simultanée des perturbations produites dans le monde entier que l'on arrivera sans doute à en déterminer l'origine et le mode de propagation ; et c'est là le but que l'on s'est proposé en organisant les expéditions polaires auxquelles la plupart des nations civilisées se disposent aujourd'hui à concourir.

Pour apporter un document à l'étude de la perturbation actuelle, j'en indiquerai ici les principales phases, telles qu'elles se sont traduites sur l'appareil enregistreur que j'ai installé, à titre d'essai, dans les caves du Collège de France. Cet appareil donne les variations des trois éléments : déclinaison, composante horizontale et composante verticale. L'emplacement serait sans doute mal choisi pour déterminer en valeurs absolues les éléments du magnétisme terrestre, mais les causes locales qui influent sur le phénomène ne nuisent pas à l'étude des perturbations d'ordre général.

La perturbation actuelle ne paraît pas s'être produite subitement; elle était pour ainsi dire annoncée depuis plusieurs jours par une agitation presque constante de l'aiguille aimantée.

Sans remonter plus haut, on constate, le 6, le 7 et le 8 avril, des oscillations dont l'amplitude atteint 6′ pour la déclinaison et 0,002, en valeur relative, pour la composante horizontale ; les oscillations de la composante horizontale sont de 0,001 le 12 avril, de 2^h à 9^h s., et de 0,002 le 13, depuis midi jusqu'à minuit.

C'est à ce moment, c'est-à-dire le 13 à $11^h\,15^m$ s., que paraît devoir être placé le début d'un véritable orage magnétique. Depuis ce moment jusqu'au 14 à 7^h s., l'aiguille de déclinaison a éprouvé des oscillations nombreuses atteignant 10′; de même pour la composante horizontale dont l'amplitude d'oscillation a été jusqu'à 0,0035.

Le 15, petites oscillations toute la journée.

Le 16, de 3^h s. à 5^h s., oscillations de 0,002 pour la composante horizontale.

La grande secousse a commencé dans la nuit du 16 au 17, à $11^h\,45^m$, et a porté en même temps sur les trois éléments. La déclinaison a éprouvé d'abord des oscillations de 10′; une oscillation de 26′ a lieu entre $8^h\,30^m$ m. et $9^h\,30^m$ m. ; aiguille

très agitée jusqu'à minuit, où le calme se rétablit. La composante horizontale éprouve d'abord un accroissement subit de 0,007 ; à 5^h m. elle a diminué de plus de 0,01 ; oscillation de 0,02 entre $2^h 15^m$ s. et $3^h 15^m$ s. ; calme rétabli à $10^h 30^m$ s. La composante verticale, peu altérée jusqu'à présent, est modifiée cette fois d'une manière notable ; une variation négative de 0,01 de sa valeur a lieu vers 6^h m. et une autre positive de même grandeur vers 9^h s.

Le 18, rien de remarquable, sauf une perturbation vers 3^h s., atteignant 0,005 pour la composante horizontale.

Le 19, petites oscillations sans importance.

Le 20, une grande secousse, analogue à la première, débute à $3^h 45^m$ m. par un accroissement brusque de la déclinaison et de la composante horizontale. La déclinaison a varié de + 40′ à $4^h 50^m$ m. ; oscillations nombreuses atteignant 25′ de $7^h 30^m$ m. à $8^h 30^m$ m. ; agitations continuelles jusqu'au lendemain 21 à $6^h 45^m$ m. La composante horizontale éprouve des oscillations qui atteignent 0,01 de 5^h à 6^h m., 0,012 de $7^h 45^m$ à 8^h m. et 0,01 à 7^h s. ; calme rétabli le 21 à $7^h 45^m$ m. La composante verticale, d'abord peu modifiée, croît brusquement de 0,01 à $3^h 30^m$ s. et revient lentement à sa valeur primitive. De petites oscillations se manifestent encore dans les journées du 21, du 22 et du 23 ; la journée du 24 est plus agitée, comme l'étaient celles du 6 et du 7, mais la perturbation générale semble disparaître, en présentant des caractères analogues à ceux qui s'étaient manifestés au début.

Pendant cette même période, l'enregistreur d'électricité atmosphérique n'indique aucune perturbation qui puisse être rapportée au phénomène magnétique.

J'ajouterai quelques mots sur l'appareil qui me permet d'obtenir cet enregistrement continu des variations du magnétisme terrestre. L'aiguille de déclinaison est un petit barreau de $0^m,03$ de longueur muni d'un miroir. Un barreau analogue, porté par une suspension bifilaire en fils de soie, donne les variations de la composante horizontale. Celles de la composante verticale sont fournies par une aiguille horizontale à couteau, oscillant comme un fléau de balance. Une seule lampe au gazogène, dont l'éclat est comparable à celui d'une veilleuse, envoie par trois fentes de la lumière aux trois instruments de

variations, et les trois images de retour peuvent, par un système de prismes réflecteurs, tomber sur une même plaque sensible mue par un mouvement d'horlogerie. Sur chaque appareil de variations est installé un miroir fixe qui donne une image invariable de la fente pour servir de repère. La plaque sensible est du papier de gélatino-bromure placé entre deux lames de verre. Enfin, l'horloge est munie d'un contact électrique qui fait passer toutes les heures un courant momentané dans trois bobines situées respectivement auprès de chaque appareil; l'interruption produite ainsi sur les courbes d'inscription permet de déterminer exactement l'heure de toutes les perturbations.

(*Comptes rendus.*)

Des variations magnétiques des tiges aimantées pendant les orages.

Par M. G. de Lalagade.

L'influence des orages sur l'aiguille aimantée est généralement trop instantanée et trop faible pour faire dévier l'aiguille aimantée la mieux suspendue. J'écarte le cas où la foudre passerait dans le voisinage d'une boussole, et je me place dans les conditions ordinaires où se trouvent les barreaux aimantés en temps d'orage, c'est-à-dire, éloignés des nuages où éclate la foudre.

Depuis plusieurs mois cherchant à vérifier si réellement l'activité solaire influait sur le magnétisme, et surtout cherchant à percevoir les variations brusques qui pourraient se produire, j'imaginai pour suppléer à l'inertie de mon aiguille de déclinaison divers appareils plus sensibles. Ainsi, au bout d'une tige d'acier aimantée, je disposai une mince membrane de fer montée de la même manière que celle du téléphone; toute variation magnétique de la longue tige d'acier devait influencer directement la plaque de fer et lui faire rendre un son. Cet appareil me servit à d'autres expériences.

En effet, dans la soirée du 6 avril un orage éclata; c'était

le premier de l'année. J'eus l'idée d'écouter au bout de la tige. Je constatai que, à chaque éclair, la membrane de fer faisait entendre un petit coup sec, très faible, il est vrai, mais cependant assez sensible. L'orage fut de courte durée, et, malgré toute mon attention, je ne perçus plus rien dès que l'orage fut un peu éloigné.

Je m'empressai de construire un appareil plus sensible, et en tout cas plus commode: je pensai faire réagir ces variations magnétiques de la tige produites au moment de l'éclair sur les circuits de plusieurs petites bobines couvertes de fil fin, et de diriger dans un téléphone les courants induits qui se produiraient.

Pour cela, sur la terrasse d'une tour élevée d'environ 20 mètres, je plaçai deux montants de bois supportant un petit toit en toile imperméable; en dessous je disposai horizontalement douze tiges d'acier aimantées de 7 millimètres de diamètre et de 2 centimètres de longueur. Chacune était recouverte à son extrémité sur un cinquième de sa longueur, de douze petites bobines revêtues de fil fin; chaque bout du fil des bobines, enroulées dans le même sens, venait se réunir à un même conducteur, afin de recueillir, de grouper tous les courants produits sans augmenter la résistance totale de l'appareil. Les deux conducteurs qui recueillaient les courants des bobines venaient s'attacher à une paire de téléphones placée sous un autre abri.

Le 24 avril, dans la soirée, le temps devint subitement orageux du côté de l'ouest: je me rendis aussitôt sur la terrasse de la tour, je dirigeai toutes mes tiges parallèlement à l'horizon d'où venait l'orage. Non seulement à chaque éclair correspondait un bruit sec, mais avant les éclairs, qui étaient rapidement suivis du tonnerre, j'entendais un léger bruissement, suivi du claquement caractéristique qui accompagnait l'éclair. Comme dans ma première expérience du 6 avril, malgré toute mon attention, je ne perçus plus rien dès que l'orage fut à une certaine distance.

Après les deux expériences que je viens de citer, il me semble possible d'affirmer que la foudre, même éloignée, a une action réelle sur le magnétisme des aiguilles aimantées, cette influence n'étant pas assez forte ou étant trop rapide,

dans les conditions ordinaires, pour être indiquée par l'aiguille des boussoles.

Je terminerai en exprimant le désir de voir employer un appareil du genre que j'ai décrit dans ma deuxième expérience, dans les études simultanées que l'on va entreprendre dans les régions polaires.

(*Comptes rendus.*)

Le sonomètre électrique.

Par le professeur James Blyth.

L'appareil consiste en un sonomètre ordinaire dont les deux chevalets sont séparés par un espace libre de cinq pieds; un fil métallique est tendu d'une extrémité à l'autre. On fait passer à travers ce fil un courant de huit à dix couples Grove, interrompu par un diapason qui vibre 128 fois par seconde. A la distance d'un cinquième environ de la longueur du fil, un fort électro-aimant, dont les pôles sont en pointes, est placé de façon que la ligne qui unit les pôles soit à angle droit avec les fils. Les pôles sont aussi rapprochés que possible du fil, auquel ils laissent cependant la liberté de vibrer. Lorsque un courant de huit couples Grove passe dans les spirales de l'electro-aimant, le fil commence à sonner, et en changeant sa tension, la note fondamentale du fil ressort claire et pleine. On voit aussi le fil vibrer dans toute sa longueur, et de même on constate les vibrations dans le plan perpendiculaire à la ligne qui unit les pôles. Si l'on change un peu de place l'électro-aimant, et qu'on règle la tension du fil, on voit celui-ci se partager en nœuds et en ventres, avec un, deux, trois nœuds dans sa longueur, donnant ainsi les harmoniques de la note fondamentale.

Cet effet est dû au courant interrompu qui fait vibrer le fil à travers les lignes de force dues à l'électro-aimant; en fait, l'aimant paraît bien jouer le rôle de l'archet qui sert à mettre le fil en mouvement dans les cas ordinaires.

J'ai essayé des fils de différente nature, en fer, en acier, en cuivre, tous ont donné le même résultat, ce qui prouve que

l'effet n'est pas seulement borné aux fils en métal magnétique.

Cette expérience sert à expliquer l'action du téléphone à fil métallique, en montrant que cette action est due principalement, sinon entièrement, aux vibrations transversales du fil, et non pas aux vibrations longitudinales.

En arrêtant la vibration du fil, à certains points déterminés de sa longueur, on peut reproduire directement les différentes notes de la gamme.

Toutes les notes produites sont remarquablement claires et belles, et l'effet que produit le plus léger changement de tension dans la variation du ton est parfaitement marqué.

Il est facile de voir qu'on pourrait construire sur ce principe un appareil pour répéter les expériences de Helmholtz sur les sons des voyelles.

(*Proceedings of the A. S. of Edinburg.*)

Observations sur l'impression produite sur les animaux par la résonnance de la vibration des fils télégraphiques.

M. Nielsen, directeur en chef des télégraphes norvégiens, signalait, dans une note qui était distribuée à l'Exposition universelle d'électricité, quelques faits intéressants et curieux sur l'impression produite par les lignes télégraphiques sur quelques animaux. Voici un extrait de cette note :

« On sait que l'oiseau le pic noir et vert; (*picus martius* et *picus verides*) se nourrit de vers et d'insectes qu'il cherche sous l'écorce des arbres qui sont gâtés, mais jamais dans les arbres tout frais.

« Dans l'exposition norvégienne figurent des fragments de poteaux parfaitement frais, imprégnés de sulfate de cuivre et perforés d'un trou d'un diamètre de 7 centimètres, lequel trou a été percé par ledit oiseau.

« Le même phénomène se répète fréquemment en Norvége, dans quelques districts situés au voisinage des bois de pin où vit cet oiseau; les trous sont toujours situés près du sommet du poteau.

« Selon l'avis d'un ornithologiste, ce phénomène doit être attribué à la résonnance produite par la vibration du fil, que l'oiseau s'imagine être l'effet du travail des vers et des insectes à l'intérieur du poteau, et c'est pourquoi il se met en toute confiance à becqueter le trou.

« Pauvre oiseau ! Après s'être donné toute cette peine, il doit se trouver amèrement désappointé quand subitement, à l'autre côté du poteau, il se voit en face de l'air.

« Il est connu de tout le monde que le miel est ce qu'il y a de plus délicieux pour un ours, et quand, pendant ses promenades solitaires dans les montagnes, la vibration des fils télégraphiques vient le tirer de ses rêveries, on comprend que la pauvre bête croie entendre le bourdonnement joyeux d'un essaim d'abeilles et se lèche les lèvres à l'avance; alors, tout en suivant le son trompeur, il arrive au poteau où le son se multiplie, et, comme il ne trouve pas la ruche espérée, il est naturellement porté à la croire cachée sous le monceau de pierres qui sert à appuyer le poteau dans sa sise sur le rocher nu; donc, après s'être mis à disperser les pierres dans toutes les directions, afin de trouver le trésor rêvé, il finit, trompé dans son espérance, par donner un violent coup de patte, pour avoir au moins la satisfaction d'écraser toutes les abeilles qu'il suppose cachées dans l'intérieur du poteau.

« Nous avons parfois observé, sur les hauts plateaux des montagnes, des bouleversements de ces pierres, servant d'assiette aux poteaux, qui étaient inexplicables, jusqu'à ce qu'on eût aperçu les traces des griffes de l'ours.

« Je vais encore citer quelques observations faites sur l'effet produit par la suspension des fils télégraphiques sur les loups; mais d'abord il faut dire que ces phénomènes sont des plus compliqués, et paraîtront problématiques au point de vue de la science naturelle. Je me bornerai donc à citer les faits, en laissant à chacun le soin de se former sa propre opinion. Mon attention fut la première fois attirée sur ce sujet lorsqu'il fut question de mettre un crédit à la disposition du gouvernement pour les premières grandes lignes télégraphiques. On dit alors qu'un membre du « Storthing » avait déclaré que,

quoique la partie du pays qu'il représentait n'eût aucun intérêt direct dans la ligne proposée, il voulait cependant émettre un vote favorable parce qu'il supposait que par cet expédient les loups seraient chassés du district où passait la ligne. Le fait était que les loups, à cette époque, furent un grand fléau pour le pays, et que, pendant l'hiver, ils descendirent par bandes des montagnes aux vallées où ils se mirent à tuer en nombre considérable les bestiaux des paysans; c'était pourquoi on avait pris la précaution, en plusieurs contrées, de placer une enceinte autour des étables et des demeures des fermes, au moyen de supports liés entre eux par des cordes et c'est chose constatée que les loups, si affamés qu'ils fussent, n'osèrent passer au-dessous de telles cordes suspendues. C'était la même précaution dont on se servit pour débarrasser une presqu'île des visites inopportunes de ces bêtes voraces. Après leur avoir donné la chasse par une battue, on eut le soin de tirer à travers l'isthme une corde suspendue aux pieux, et cet expédient eut pour résultat de garder la presqu'île contre les visites des loups.

Ce qu'il y a de plus remarquable, c'est qu'après qu'on eut commencé d'établir le grand réseau télégraphique à travers les plateaux des montagnes suivant le long des principales vallées du pays (il y a maintenant vingt et quelques années), les loups ont totalement disparu et ne sont pas revenus depuis.

« Pourtant, comme je l'ai dit plus haut, les naturalistes nieront que ce soit la cause véritable de la disparition des loups du pays, et attribueront ce départ soit aux ravages d'une épidémie, soit à des pérégrinations lointaines des loups; mais on doit constater que jamais pareil fait ne s'est produit dans ce pays, qui semble réunir tant de conditions favorables au séjour des loups. »

Théorie de l'électricité, d'après Franklin.

Tout le monde connaît la théorie hardie à l'aide de laquelle Franklin cherche à expliquer les phenomènes électriques à l'aide de l'intervention d'un fluide unique. Un grand nombre d'autres semblent incliner à lui donner la préférence sur celle

des deux fluides, mais peu de personnes la connaissent en réalité.

Voici comment l'auteur l'explique dans les *Lettres sur l'électricité*, qu'il adressait à M. P. Collinson, membre de la Société Royale de Londres :

« 1. La matière électrique est composée de particules extrêmement subtiles, puisqu'elle peut traverser la matière commune, même les métaux les plus denses, avec tant de facilité et de liberté qu'elle n'éprouve aucune résistance sensible.

« 2. Si quelqu'un doutait que la matière électrique passât à travers la substance des corps mais seulement sur et le long de leur surface, un choc d'un grand vase électrisé tiré à travers son propre corps suffirait probablement pour le convaincre.

« 3. La matière électrique diffère de la matière commune en ce que les parties de celles-ci s'attirent mutuellement et que les parties de la première se repoussent mutuellement; de là la divergence apparente dans un courant d'écoulements électriques.

« 4. Mais quoique les particules de matière électrique se repoussent l'une l'autre, elles sont fortement attirées par toute autre matière.

« 5. De ces trois choses, savoir l'extrême subtilité de la matière électrique, la mutuelle répulsion de ses parties, et la forte attraction entre elles et une autre matière, il en résulte cet effet que quand une quantité de matière électrique est appliquée à une masse de matière commune d'une grosseur et d'une longueur sensibles (qui n'a pas déjà acquis sa quantité), elle est d'abord et également répandue dans la totalité.

« 6. Ainsi la matière commune est une espèce d'éponge pour le fluide électrique; une éponge ne recevrait pas l'eau, si les parties de l'eau n'étaient plus petites que les spores de l éponge; elle ne la recevrait que bien lentement, s'il n'y avait pas une attraction mutuelle entre ses parties et les parties de l éponge; celle-ci s'en imbiberait plus promptement, si l'attraction réciproque entre les parties de l'eau n'y mettait pas obstacle, en ce qu'il doit y avoir quelque force employée pour les séparer; enfin, l'imbibition serait très rapide si, au lieu d'attraction, il y avait entre les parties une répulsion mutuelle qui concourût

avec l'attraction de l'éponge. C'est précisément le cas où se trouve la matière électrique et la matière commune.

« 7. Mais dans la matière commune il y a (généralement parlant) autant de matière électrique qu'elle peut en contenir dans sa substance. Si l'on en ajoute davantage, le surplus reste sur la surface et forme ce que nous appelons une *atmosphère électrique*, et l'on dit alors que le corps est *électrisé*.

« 8. On suppose que toute sorte de matière commune n'attire pas ni ne retient pas la matière électrique avec une égale force et une égale activité, pour les raisons que nous donnerons dans la suite; et que les corps appelés originairement électriques, comme le verre, etc., l'attirent et la retiennent plus fortement, et en contiennent la plus grande quantité.

« 9. Nous savons que le fluide électrique est dans la matière commune, parce que nous pouvons le pomper et l'en faire sortir par le moyen du globe ou du tube (*). Nous savons que la matière commune en a à peu près autant qu'elle en peut contenir, parce que quand nous en ajoutons un peu plus à une portion quelconque, cette quantité ajoutée n'entre point, mais forme une atmosphère électrique, et nous savons que la matière commune n'en a pas (généralement parlant) plus qu'elle n'en peut contenir; autrement toutes ses parties détachées se repousseraient l'une l'autre, comme elles font constamment lorsqu'elles ont des atmosphères électriques.

« 10. La forme de l'atmosphère électrique est celle du corps qu'elle environne. »

(*L'Électricité.*)

(*) Franklin fait allusion ici aux deux modes de production alors usités de l'électricité : le frottement d'un globe de soufre, de résine ou de verre, ou de celui d'un tube de verre.

Le Gérant : Dunod. — Imprimerie C. Marpon et E. Flammarion, 26, rue Racine.

ANNALES TÉLÉGRAPHIQUES

Année 1882 **Mai-Juin**

CAPACITÉ ÉLECTROSTATIQUE ET RÉSISTANCE DE L'ESPACE COMPRIS ENTRE DEUX CYLINDRES PARALLÈLES A BASE CIRCULAIRE.

SUITE (*).

12. On peut facilement trouver l'équation générale des lignes de force, qui sont normales aux courbes équipotentielles représentées par la formule (n° 8)

$$\frac{(x-\alpha)^2+y^2}{(x-\alpha')^2+y^2}=\mathrm{K}^2.$$

L'angle formé avec l'axe des x par la tangente en chaque point aux courbes équipotentielles est donnée par la valeur $\frac{dy}{dx}$ tirée de cette équation, en le représentant par m, on a :

$$\operatorname{tang} m=\frac{x(1-\mathrm{K}^2)-(\alpha-\alpha'\mathrm{K}^2)}{y(\mathrm{K}^2-1)}.$$

En remplaçant K^2 par sa valeur en fonction de x et de

(*) Voir n° de juillet-août 1881.

y, cette équation devient

$$\operatorname{tang} m = \frac{y^2 - \left(x - \frac{\alpha + \alpha'}{2}\right)^2 + \left(\frac{\alpha - \alpha'}{2}\right)^2}{2\left(x - \frac{\alpha + \alpha'}{2}\right) y}.$$

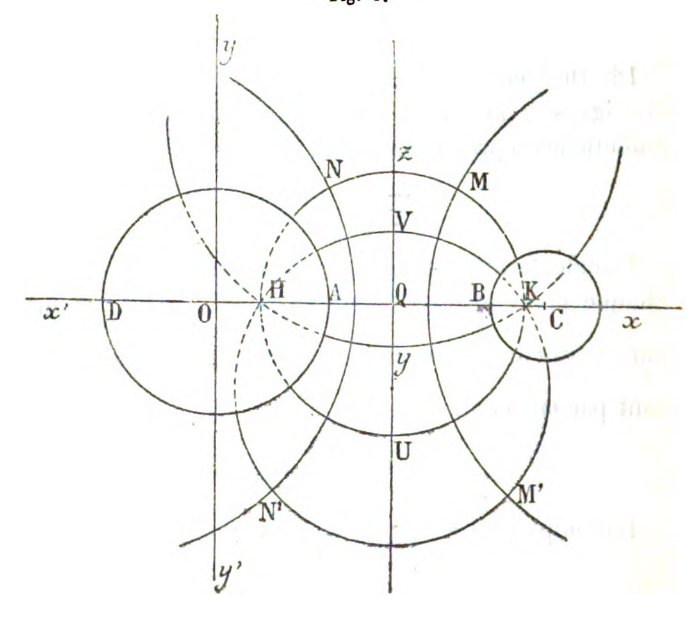
Si maintenant dx et dy représentent les variations des coordonnées des lignes de force, on a

$$\frac{dy}{dx} \operatorname{tang} m = -1,$$

ce qui conduit, si l'on introduit la valeur de tang m, à l'équation

$$\frac{2y\,dy + 2\left(x - \frac{\alpha + \alpha'}{2}\right) dx}{y^2 + \left(x - \frac{\alpha + \alpha'}{2}\right)^2 - \frac{(\alpha - \alpha')^2}{4}} = \frac{dy}{y}.$$

Fig. 4.



En intégrant les deux termes, et représentant par H une constante arbitraire, on arrive à l'équation :

$$y^2 + \left(x - \frac{\alpha + \alpha'}{2}\right)^2 - \frac{(\alpha - \alpha')^2}{4} = Hy.$$

ou

$$(18) \quad \left(y - \frac{H}{2}\right)^2 + \left(x - \frac{\alpha + \alpha'}{2}\right)^2 = \frac{(\alpha - \alpha')^2}{4} + \frac{H^2}{4}$$

C'est la formule générale des courbes équipotentielles. Ces courbes sont des circonférences telles que HZK, HVK, HYK, etc. (*fig.* 4), qui passent par les deux points H et K, pour lesquels on a $OH = \alpha$ et $OK = \alpha'$.

13. Représentons par b la distance $AB = a - R_1 - R_2$ des deux circonférences, que nous supposerons constante, et remplaçons dans les formules trouvées précédemment (n°s 7 et 12) a par $b + R_1 + R_2$, elles deviennent

$$(19) \quad \left\{ \begin{array}{c} OH = \alpha = \\ \dfrac{b^2 + 2R_1^2 + 2bR_1 + 2bR_2 + 2R_1R_2 - \sqrt{b(b + 2R_1)(b + 2R_2)(b + 2R_1 + 2R_2)}}{2(b + R_1 + R_2)} \\ OK = \alpha' = \\ \dfrac{b^2 + 2R_1^2 + 2bR_1 + 2bR_2 + 2R_1R_2 + \sqrt{b(b + 2R_1)(b + 2R_2)(b + 2R_1 + 2R_2)}}{2(b + R_1 + R_2)}. \end{array} \right.$$

et

$$(20) \quad S = \frac{l}{L\dfrac{b^2 + 2bR_1 + 2bR_2 + 2R_1R_2 + \sqrt{b(b + 2R_1)(b + 2R_2)(b + 2R_1 + 2R_2)}}{b^3 + 2bR_1 + 2bR_2 + 2R_1R_2 - \sqrt{b(b + 2R_1)(b + 2R_2)(b + 2R_2 + 2R_2)}}}.$$

On peut encore mettre la valeur de S sous la forme suivante, en divisant les deux termes de l'expression logarithmique par $b^2 + 2bR_1 + 2bR_2 + 2R_1R_2$, et en substituant les logarithmes ordinaires aux logarithmes népériens

$$(21) \quad S = \frac{l \times 0.424}{\log \dfrac{1 + \sqrt{1 - \left(\dfrac{2R_1R_2}{b^2 + 2bR_1 + 2bR_2 + 2R_1R_2}\right)^2}}{1 - \sqrt{1 - \left(\dfrac{2R_1R_2}{b^2 + 2bR + 2bR_2 + 2R_1R_2}\right)^2}}}.$$

14. Les valeurs de α et de α', dont le produit est égal à R_1^2 (équation 11) sont toujours de même signe, les points H et K, par lesquels passent toutes les lignes de force sont donc situées du même côté par rapport au centre O_1 (*fig.* 4). La position de ces deux points peut se trouver aisément par une construction géométrique.

Q étant le milieu de la ligne HK, on a

$$OQ = \frac{OH + HK}{2} = \frac{\alpha + \alpha'}{2}$$

ou, d'après les équations 12,

$$OQ = \frac{a^2 + R_1^2 - R_2^2}{2a} = \frac{1}{2}\left[a + \frac{(R_1 + R_2)(R_1 - R_2)}{a}\right].$$

En menant au cercle C (*fig.* 5) une tangente parallèle

Fig. 5.

à l'axe $x'x$ et la prolongeant jusqu'à la rencontre de l'axe Oy, on a une longueur MN égale à $\sqrt{(R_1 + R_2)(R_1 - R_2)}$.

Si l'on décrit une circonférence sur OC comme diamètre et si l'on détermine le point P par la condition que la corde OP soit égale à MN, on obtient en abaissant la perpendiculaire PI un point I tel que

$$OI = \frac{(R_1 + R_2)(R_1 - R_2)}{a}.$$

En prenant une longueur égale à la moitié de OI et la portant en LQ à partir du point L, milieu de OC, on obtient le point Q, qui est le centre de l'une des circonférences qui représentent les lignes de force. Toutes les autres lignes de force ont leur centre sur la ligne zz' normale à l'axe xx'.

Si l'on mène par le point Q deux tangentes QS et QR aux deux cercles donnés, elles sont égales, et la circonférence tracée du point Q comme centre avec QR pour rayon représente la ligne de force dont Q est le centre; les points de rencontre de cette circonférence avec l'axe xx' donnent les deux points H et K et l'on a par conséquent

$$QH = QK = \frac{\sqrt{(R_1+R_2+a)(R_1+R_2-a)(R_1-R_2+a)(R_1-R_2-a)}}{2a}$$
$$= \frac{\sqrt{b(b+2R_1)(b+2R_2)(b+2R_1+2R_2)}}{2(b+R_1+R_2)}.$$

Le centre de la circonférence équipotentielle, qui passe par un point quelconque T de la circonférence HVK, s'obtient en menant au point T une tangente à cette dernière; son point de rencontre D avec la ligne xx' est le centre cherché.

La normale zz' à l'axe xx' est la courbe équipotentielle qui passe par le point Q.

Si la circonférence C avait un rayon plus grand que la circonférence O, ou si cette dernière était intérieure à la

première, on obtiendrait la position des points H et Q par une construction analogue.

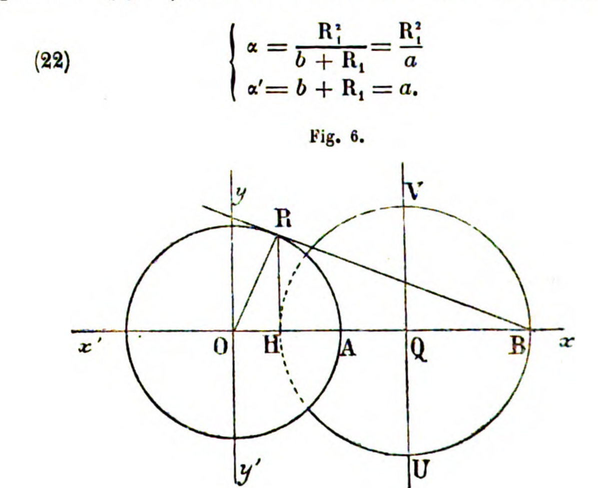
Nous allons examiner les divers cas qui peuvent se présenter, en supposant que la distance $AB = b$ des deux circonférences reste constante.

Discussion des formules.

15. Supposons, en premier lieu, que le rayon R_2 de la circonférence C (*fig.* 4) soit très petit, et négligeable devant la distance b, auquel cas le cercle C se réduit à un point B (*fig.* 6) ; les valeurs de α et de α' deviennent

$$(22) \qquad \begin{cases} \alpha = \dfrac{R_1^2}{b + R_1} = \dfrac{R_1^2}{a} \\ \alpha' = b + R_1 = a. \end{cases}$$

Fig. 6.



Le point qui correspond à α' se trouve naturellement au point B ; quant à celui qui correspond à α, on obtient géométriquement sa position par la méthode indiquée plus haut, ou plus simplement en menant par le point B une tangente BR à la circonférence O et en abaissant du

point R la perpendiculaire RH sur la ligne $x'x$. La longueur OH est égale à α, et la circonférence HVBU représente une des lignes de force.

Quant à la capacité électro-statique S, elle est naturellement égale à zéro si R_2 est rigoureusement nul, mais on peut avoir l'expression de sa valeur quand R_2 est seulement très petit par rapport à b. Représentons par θ_2 ce rayon, la formule 21 donne

$$S = \frac{l \times 0{,}434}{\log \dfrac{1 + \sqrt{1 - \dfrac{4R_1^2\theta_2^2}{(b^2 + 2bR_1)^2}}}{1 - \sqrt{1 - \dfrac{4R_1^2\theta_2^2}{(b^2 + 2bR_1)^2}}}}.$$

Le numérateur de la fraction logarithmique est sensiblement égal à 2. Quant au dénominateur on obtient sa valeur approximative en prenant les deux premiers termes du développement de $\left(1 - \dfrac{4R_1^2\theta_2^2}{(b^2 + 2bR_1)^2}\right)^{\frac{1}{2}}$, ou

$$1 - \frac{2R_1^2\theta_2^2}{(b^2 + 2bR_1)^2},$$

ce qui conduit à

$$S = \frac{l \times 0{,}434}{\log \dfrac{(b^2 + 2bR_1)^2}{R_1^2\theta_2^2}} = \frac{l \times 0{,}434}{2 \log \dfrac{b^2 + 2bR_1}{R_1\theta_2}},$$

ou enfin

(23) $$S = \frac{l \times 0{,}217}{\log \dfrac{b^2 + 2bR_1}{R_1\theta_2}},$$

16. Si le rayon R_1 est également très petit par rapport à b et si on le représente par θ_1, S devient à peu près

(24) $$S = \frac{l \times 0{,}217}{\log \dfrac{b^2}{\theta_1\theta_2}},$$

et, si les deux circonférences ont le même rayon $\theta_1 = \theta_2 = \theta$,

$$S = \frac{l \times 0.217}{2 \log \frac{b}{\theta}}. \tag{25}$$

La longueur b étant très grande par rapport à θ, θ_1 et θ_2, la valeur de $\log \frac{b^2}{\theta_1 \theta_2}$ ou de $2 \log \frac{b}{\theta}$ varie peu lorsque les diamètres des circonférences changent. C'est ce qui a lieu, par exemple, pour les fils télégraphiques. Ainsi, si la distance de deux fils est de $0^m,50$ et si ces fils ont un même diamètre qu'on fait varier de 1 à 5 millimètres, le rapport $\frac{b}{\theta}$ décroît de 500 à 100 et $\log \frac{b}{\theta}$ de 2,7 à 2; la capacité électro-statique est : $S = \frac{l \times 0,217}{2 \times 2,7} = l \times 0,040$ pour deux fils de 1 millimètre, et $S = \frac{l \times 0,217}{2 \times 2} = l \times 0,054$ pour deux fils de 5 millimètres.

Si la distance des fils était de 5 mètres, la capacité serait $S = l \times 0,028$ pour deux fils de 1 millimètre, et $l \times 0,034$ pour deux fils de 5 millimètres.

17. Lorsque le rayon de la circonférence placée en B (*fig.* 6) étant toujours très petit et égal à θ, celui de l'autre circonférence augmente, la distance AB restant constante, le point H s'éloigne du point A, et sa position se détermine géométriquement, comme il a été dit, par le pied H de la perpendiculaire abaissée sur l'axe xx' du point de tangence R. Il se trouve au milieu du rayon OA lorsqu'on a $b = R_1$, ou AB = OA.

Dans ce cas, la capacité électro-statique est

$$S = \frac{l \times 0,217}{\log \frac{2b}{\theta}} = \frac{l \times 0,217}{0,477 + \log \frac{b}{\theta}}.$$

18. A mesure que le rayon R_1 augmente, le point H s'éloigne du point A, mais il tend vers une limite qu'on peut trouver aisément. En désignant par β la distance AH, et en remplaçant α par $R_1 - \beta$ dans la première des équations 22, on a

$$R_1 - \beta = \frac{R_1^2}{b + R_1}$$

ou

$$\beta = \frac{bR_1}{b + R_1},$$

cette équation donne, lorsque R_1 est infiniment grand,

$$\beta = b.$$

Lorsque le cercle O a un rayon infini, le point H se trouve donc à une distance du point A égale à AB (*fig.* 7).

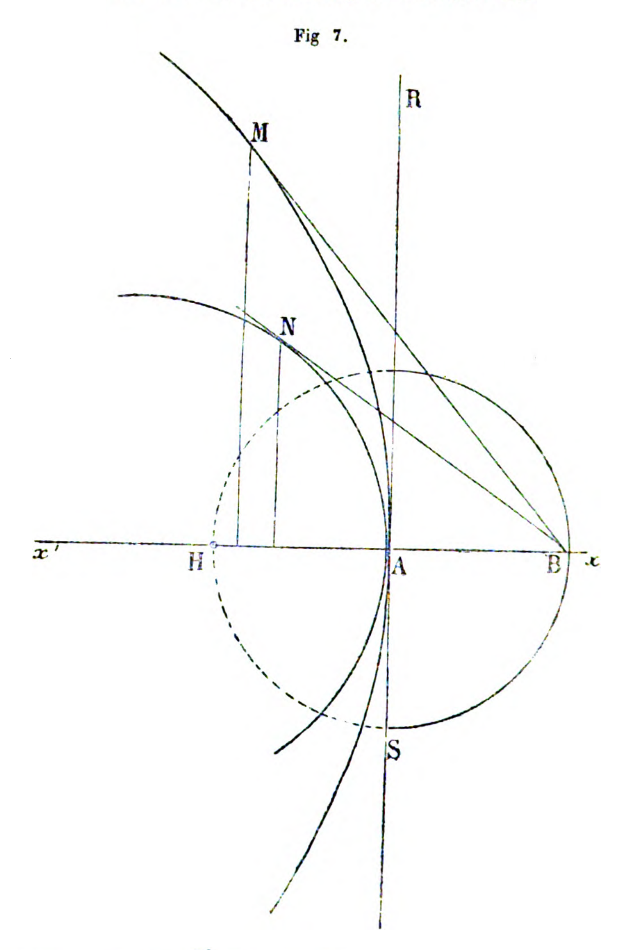
Ainsi, si l'on trace une série de circonférences AN, AM, dont le centre, situé sur l'axe xx', s'éloigne de plus en plus du point A, les tangentes menées par un point extérieur B rencontrent ces circonférences en des points N, M, etc., dont la projection s'éloigne de plus en plus du point A et tend vers une limite H, telle que AH = AB.

Une ligne droite indéfinie SR ne peut donc être considérée comme une circonférence de rayon infiniment grand que dans une partie plus ou moins restreinte de son parcours.

19. Dans le cas extrême où la circonférence O a un rayon infiniment grand, la capacité électrostatique S se déduit de l'équation 23, dans laquelle il suffit de faire R_1 infiniment grand par rapport à b ; elle donne

$$S = \frac{l \times 0{,}217}{\log \dfrac{\dfrac{b^2}{R_1} + 2b}{\theta_2}}$$

Fig 7.



ou, en négligeant $\frac{b^2}{R_1}$ devant $2b$

$$S = \frac{l \times 217}{\log 2\frac{b}{\theta_2}} = \frac{l \times 0,217}{0,30 + \log \frac{b}{\theta_2}}.$$

On voit que si le diamètre θ_2 est suffisamment petit, cette capacité est à peu près le double de celle qui cor-

respondrait à deux fils parallèles ayant ce même diamètre.

Si, par exemple, le conducteur a un diamètre égal à 1 millimètre, et si la distance b est égale à 5 mètres, on a

$$S = \frac{l \times 0,217}{0,30 + \log \frac{5}{0,001}} = \frac{l \times 0,217}{4} = l = 0,054,$$

tandis qu'elle est $l \times 0,028$, ainsi qu'on l'a vu plus haut, pour deux fils de 1 millimètre de diamètre situés à la même distance.

Si le fil avait 5 millimètres de diamètre, la capacité serait $l \times 0,062$ au lieu de $l \times 0,034$ qui représente celle de deux fils parallèles de 5 millimètres.

20. Supposons maintenant que le rayon du cercle O restant constant, celui de la seconde circonférence, que nous avons considéré jusqu'ici comme très petit, augmente peu à peu, la distance des deux circonférences, AB, étant toujours constante et égale à b. La position des points H et K par lesquels passent toutes les lignes de force changeront; le point H (*fig.* 4) se rapprochera peu à peu du centre O, le point K s'éloignera du point B dans la direction Bx, et la capacité électro-statique S augmentera. Si le rayon de la circonférence C est égal à celui de la circonférence O (*fig.* 8), les équations 19 donnent

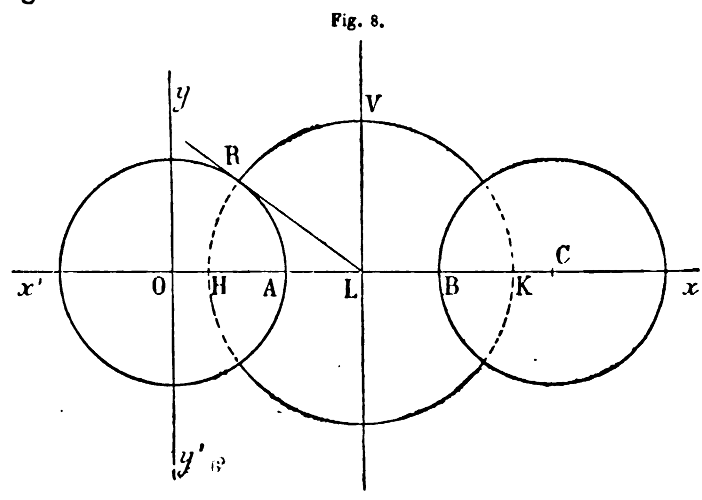
$$\alpha = \frac{b + 2R_1}{2} - \sqrt{\frac{b}{2}\left(\frac{b}{2} + 2R_1\right)},$$

$$\alpha' = \frac{b + 2R_1}{2} + \sqrt{\frac{b}{2}\left(\frac{b}{2} + 2R_1\right)}.$$

Les deux points H et K s'obtiennent alors en menant par le milieu L de la ligne des centres OC une tangente LR à l'un des cercles et en reportant la longueur LR de

L en LH et en LK. La circonférence HVK est une des lignes de force.

Fig. 8.



La capacité électro-statique a dans ce cas pour valeur

$$S = \frac{l \times 0,434}{\log \frac{b^2 + 4bR_1 + 2R_1^2 + (b + 2R_1)\sqrt{b(b + 4R_1)}}{b^2 + 4bR_1 + 2R_1^2 - (b + 2R_1)\sqrt{b(b + 4R_1)}}};$$

elle reste constante si le rapport $\frac{b}{R_1}$ ne change pas, et si $b = R_1$ on a

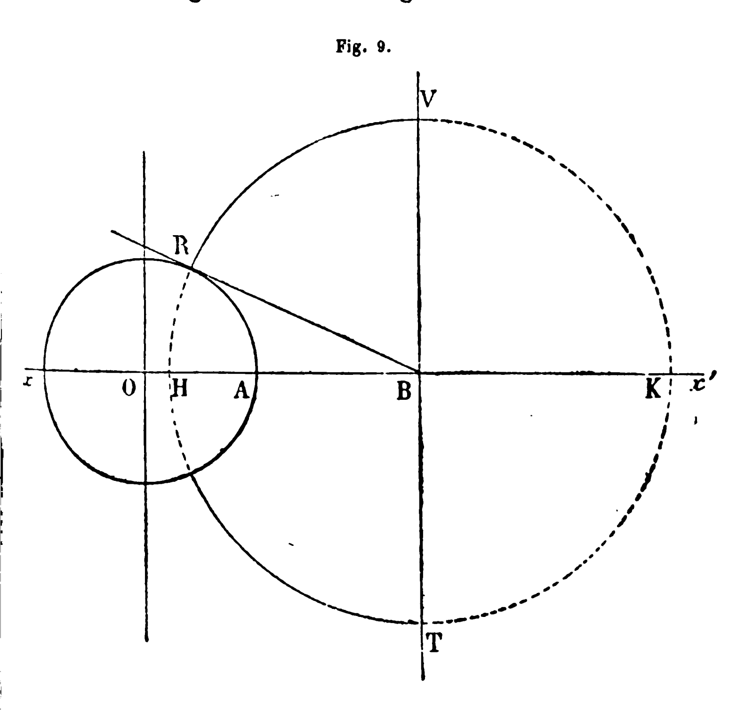
$$S = \frac{l \times 0,434}{\log \frac{7 + 3\sqrt{5}}{7 - 3\sqrt{5}}} = l \times 0,26.$$

21. Si le rayon de la circonférence C augmente indéfiniment, jusqu'à ce qu'elle se confonde avec une ligne droite VT (*fig.* 9), c'est-à-dire si l'une des surfaces devient un plan indéfini, on a pour les valeurs de α et de α', en faisant R_2 infiniment grand dans les équations **19**,

$$\alpha = b + B_1 - \sqrt{b(b + 2R_1)},$$
$$\alpha' = b + R_1 + \sqrt{b(b + 2R_1)},$$

La position des points H et K s'obtient en menant par le point B la tangente BR à la circonférence O et en prenant deux longueurs BH et BK égales à BR.

Fig. 9.



Quant à la valeur de la capacité S, elle est, d'après l'équation 21,

$$S = \frac{l \times 0{,}434}{\log \dfrac{b + R_1 + \sqrt{b(b + 2R_1)}}{b + R_1 + \sqrt{b(b + 2R_1)}}},$$

Lorsque R_1 est très petit et égal à θ_1 cette valeur devient

$$S = \frac{l \times 0{,}217}{\log 2\,\dfrac{b}{\theta_1}},$$

comme dans le cas où le rayon de la circonférence C étant infiniment petit, celui de l'autre circonférence est infiniment grand.

Toutes les circonférences qui représentent les lignes de force ont leur centre sur la ligne VT.

22. Supposons maintenant que la circonférence O, par le centre de laquelle passent les axes, soit enveloppée par l'autre circonférence, la plus courte distance des deux circonférences étant toujours égale à b.

On obtient la position des deux points par lesquels passent les lignes de force en remplaçant dans les formules 19, R_2 par $-R_2$; la valeur de α correspondant toujours à la plus petite des deux racines données par l'équation 11, et α' à la plus grande, on a (*fig.* 10) :

$$(26)\quad \left\{ \begin{aligned} \alpha &= OH = \\ &\frac{2bR_2 + 2R_1R_2 - b^2 - 2R_1^2 - 2bR_1 - \sqrt{b(b+2R_1)(2R_2-b)(2R_2-b-2R_1)}}{2(R_2-b-R_1)} \\ \alpha' &= OK = \\ &\frac{2bR_2 + 2R_1R_2 - b^2 - 2R_1^2 - 2bR_1 + \sqrt{b(b+2R_1)(2R_2-b)(2R_2-b-2R_1)}}{2(R_2-b-R_1)}. \end{aligned} \right.$$

Quant à S, sa valeur devient

$$(27)\quad S = \frac{l}{L\,\dfrac{2bR_2 + 2R_1R_2 - b^2 - 2bR_1 + \sqrt{b(b+2R_1)(2R_2-b)(2R_2-b-2R_1)}}{2bR_2 + 2R_1R_2 - b^2 - 2bR_1 - \sqrt{b(b+2R_1)(2R_2-b)(2R_2-b-2R_1)}}}$$

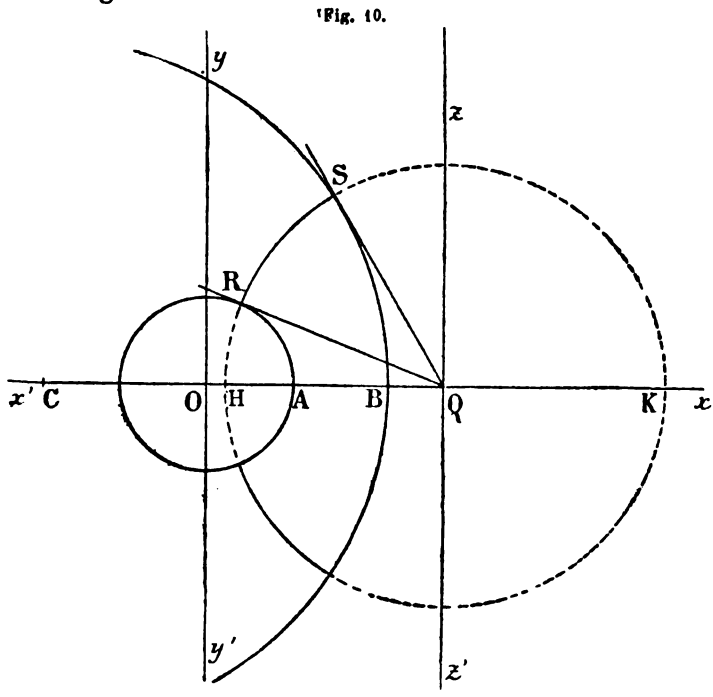
23. Si R_2 est infiniment grand on retrouve les valeurs $\alpha = OH$ et $\alpha' = OK$ de la *fig.* 9 (n° 21).

Quand R_2 décroît, α diminue et α' augmente et ils sont tous les deux positifs tant que R_2 est plus grand que $R_1 + b$, c'est-à-dire tant que le centre C de la circonférence enveloppante est à gauche du centre O (*fig.* 10).

Le point H se rapproche du centre O et le point K s'en éloigne ; ces deux points peuvent se déterminer par une

construction analogue à celle qui a été indiquée précédemment (*fig.* 5); le milieu de leur distance est tel que les tangentes QR et QS menées aux deux circonférences sont égales.

Fig. 10.



Les lignes de force sont toujours les circonférences qui passent par le point H et K, et dont le centre se trouve sur la normale zQz' à l'axe xx'.

24. Lorsqu'on a $R_2 = R_1 + b$, les deux circonférences données sont concentriques; à ce moment α devient nul, et α' est infiniment grand.

La capacité électro-statique est alors

$$S = \frac{l}{L\frac{R_2^2}{R_1^2}} = \frac{l \times 0,434}{2 \log \frac{R_2}{R_1}}$$

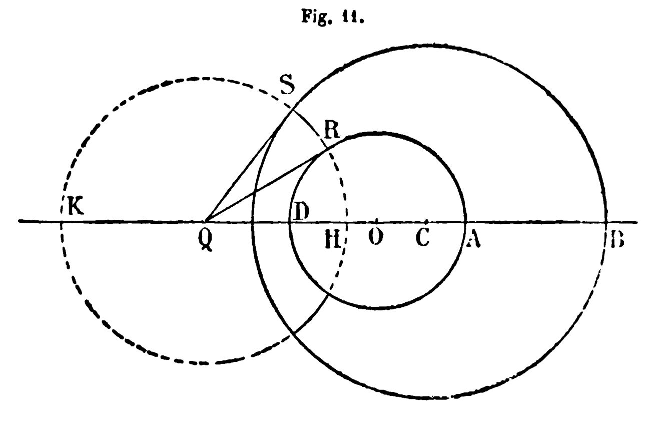
ou

$$S = \frac{l \times 0,217}{\log \frac{R_2}{R_1}}, \tag{28}$$

formule bien connue qui est appliquée journellement dans l'étude des câbles souterrains ou sous-marins, et à laquelle on peut arriver directement.

25. Si le rayon de la circonférence extérieure décroît encore, son centre C passe à droite de O; les deux valeurs de α et α' changent de signe et tombent, par exemple, en H et K (*fig.* 11). Quant à la valeur de S, elle augmente à

Fig. 11.



mesure que le rayon de la circonférence extérieure diminue et devient infiniment grande lorsque $b = 2R_2 - 2R_1$, auquel cas les deux circonférences sont tangentes. A ce moment, les deux points K et H se confondent et tombent au point de tangence. Les valeurs de α, de α' et de S deviennent imaginaires lorsque les deux circonférences se coupent.

26. Si le rayon R_2 continue à décroître jusqu'à ce que les deux circonférences deviennent tangentes extérieurement, les deux points déterminés par α et α' se trou-

vent réunis à droite du centre O, au point de tangence, et la capacité est encore infiniment grande; puis le rayon R_2 continuant à diminuer les deux points H et K s'éloignent, l'un d'eux se rapproche du centre O, et l'autre du point B, en même temps que la capacité décroît jusqu'à la valeur trouvée précédemment (n° 16)

$$S = \frac{l \times 0{,}217}{\log \frac{b^2 + 2bR_1}{R_1 \theta_2}}$$

qui correspond au cas où le rayon R_2 est très petit et égal à θ_2.

27. Des divers cas qui viennent d'être examinés, trois sont particulièrement intéressants dans la pratique télégraphique :

1° Celui d'un fil conducteur de petit diamètre θ situé à une distance fixe b d'un plan indéfini, ce qui correspond au cas d'un fil conducteur en présence du sol, auquel cas on a, pour la capacité électro-statique S_1,

$$S_1 = \frac{l \times 0{,}217}{\log \frac{2b}{\theta}};$$

2° Celui de deux fils parallèles de petit diamètre, que nous supposerons égaux l'un et l'autre à θ, pour lesquels on a, en représentant encore par b leur distance,

$$S_2 = \frac{l \times 0{,}217}{\log \frac{b^2}{\theta^2}} = \frac{l \times 0{,}217}{2 \log \frac{b}{\theta}}.$$

3° Enfin celui de deux cylindres concentriques formant un condensateur dont la capacité est

$$S = \frac{l \times 0{,}217}{\log \frac{R_2}{R}},$$

ou, si l'on suppose le rayon du cylindre intérieur $R_2 = \theta$ très petit par rapport à la distance b des deux surfaces

$$S_3 = \frac{l \times 0,217}{\log \frac{b}{\theta}}.$$

Il résulte de ces trois équations que la capacité S_3 d'un condensateur formé d'un fil enveloppé par un cylindre concentrique est double de celle, S_2, de deux fils parallèles de mêmes diamètres situés à une distance égale au rayon du cylindre, et qu'elle est la même que celle d'un condensateur formé du même fil parallèle à un plan indéfini, qui serait situé à une distance moitié moindre.

28. Supposons que le rayon θ du fil soit égal à 2 millimètres, que la distance b soit successivement $0^m,50$, 1 et 5 mètres; on trouve pour les capacités S_1, S_2 et S_3.

1° Dans le cas où $b = 0^m,50$

$$S_1 = l \times 0,080,$$
$$S_2 = l \times 0,043,$$
$$S_3 = l \times 0,086.$$

2° Dans le cas où $b = 1$ mètre

$$S_1 = l \times 0,072,$$
$$S_2 = l \times 0,040,$$
$$S_3 = l \times 0,080.$$

3° Dans le cas où $b = 5$ mètres

$$S_1 = 0,058,$$
$$S_2 = 0,032,$$
$$S_3 = 0,064.$$

29. Nous avons supposé égal à l'unité le pouvoir spécifique inducteur de la substance qui sépare les deux cylindres formant les armatures du condensateur, ce qui

est sensiblement exact lorsque le diélectrique est un gaz tel que l'air; si cette substance avait un pouvoir inducteur différent, ainsi que cela a lieu pour les diélectriques solides tels que la gutta-percha, la capacité réelle serait égale à la capacité calculée, multipliée par le coefficient qui représente ce pouvoir inducteur par rapport à l'air, coefficient qui est en moyenne 3,8 pour la gutta-percha employée à la fabrication des câbles télégraphiques ordinaires.

30. Les formules précédentes donnent la capacité en unités électro-statiques absolues. On peut l'exprimer en unités électro-magnétiques absolues, en remarquant que l'unité électro-magnétique de capacité est égale à l'unité électro-statique multipliée par le carré d'une vitesse, v^2, la vitesse v étant égale à celle de la lumière, soit environ 300.000.000 de mètres par seconde.

La capacité S dans le système électro-statique est donc représentée dans le système électro-magnétique absolu par

$$\frac{S}{v^2} \quad \text{ou} \quad \frac{S}{(300.000.000)^2}.$$

D'un autre côté, on sait que le farad adopté pour la mesure des capacités est égal à l'unité électro-magnétique absolue divisée par 10^7, et que le microfarad représente $\frac{1}{1.000.000}$ de farad ou $\frac{1}{10^{13}}$ de l'unité électro-magnétique absolue. La capacité exprimée par S en unités électro-statiques est donc représentée par

$$\frac{10^{13}S}{(300.000.000)^2} \quad \text{ou par} \quad \frac{S}{9.000} \text{ microfarads.}$$

31. La capacité électro-statique produite par un plan indéfini sur un fil parallèle de 2 millim. de rayon situé

à $0^{m},50$ de distance, pour une longueur de fil égale 1 kilomètre, ou 1,000 mètres, est donc

$$\frac{1.000 \times 0,080}{9.000} = 0,009 \text{ microfarad.}$$

Si la distance était 1 mètre, la capacité serait $0^{mf},008$, et enfin $0^{mf},0065$ si la distance était de 5 mètres.

Pour deux fils parallèles situés à $0^{m},50$ l'un de l'autre, la capacité par kilomètre de longueur est 0,005 microfarad ; elle serait $0^{mf},0044$ pour une distance de 1 mètre, et $0^{mf},0035$ pour une distance de 5 mètres.

On sait que pour un câble sous-marin de forme ordinaire, formé d'un fil conducteur de $2^{mm},13$ de rayon et d'une couche de gutta-percha de $3^{mm},83$ d'épaisseur, la capacité électro-statique est d'environ 0,40 microfarad par mille marin (1.852 mètres), ou $0^{mf},21$ par kilomètre ; elle est donc environ 32 fois plus grande que celle d'un fil aérien de 4 millimètres de diamètre situé à 5 mètres de distance du sol, et 42 fois plus grande que celle qui résulterait du voisinage de deux fils aériens situés à $0^{m},50$ l'un de l'autre.

II.

RÉSISTANCE ÉLECTRIQUE.

32. Lorsque le fluide électrique traverse un corps conducteur, la direction de son mouvement est normale aux surfaces équipotentielles, et, d'après les lois d'Ohm et de Kirchhoff, la quantité qui traverse un élément ds de la surface pendant un intervalle de temps dt a pour expression

$$-k\,ds\,dt\,\frac{dV}{dn},$$

k étant un coefficient constant qui représente la conductibilité de la matière, dV la variation du potentiel quand on passe de l'élément de surface ds à un élément infiniment voisin situé à une distance dn comptée sur la normale. La direction du mouvement de l'électricité positive a lieu dans la direction où décroît le potentiel, c'est pourquoi la formule est précédée du signe négatif.

La même expression représente la quantité d'électricité, ou le flux électrique, qui traverse pendant le temps dt un élément de surface quelconque, $\frac{dV}{dn}$ représentant toujours la dérivée du potentiel, prise par rapport à la normale à cet élément.

33. Quant au coefficient k sa valeur dépend pour chaque substance conductrice des unités adoptées ; si R est la résistance d'un cylindre de cette substance de longueur l et de section s, on a

$$R = \frac{l}{sk};$$

si ce cylindre a une section égale à l'unité de surface et une longueur égale à l'unité on a $R = \frac{1}{k}$ ou $k = \frac{1}{R}$.

Si, par exemple, l'unité de résistance est l'ohm et l'unité de longueur le centimètre, la conductibilité est l'inverse du nombre d'ohms qui représente la résistance d'un volume d'un centimètre cube de la substance. Cette conductibilité est 602.000 pour le cuivre, 102.000 pour le fer, 0,0001 pour l'eau distillée, etc.

34. Concevons trois axes rectangulaires et un élément de volume formé d'un parallélipipède rectangle ayant pour côtés dx, dy et dz ; la quantité d'électricité qui traverse une des surfaces $dx \times dy$ de ce volume est

$$-\,k\,dt\,dx\,dy \cdot \frac{dV}{dz};$$

celle qui traverse la surface opposée est

$$-k\,dt\,dx\,dy \cdot \frac{d\left(V + \frac{dV}{dz}dz\right)}{dz}$$

ou

$$-k\,dt\,dx\,dy\frac{dV}{dz} - k\,dt\,dx\,dy\,dz\,\frac{d^2V}{dz^2}.$$

La différence entre la quantité d'électricité qui entre par la première surface et celle qui sort par la seconde est

$$-k\,dt\,dx\,dy\,dz\,\frac{d^2V}{dz^2}.$$

De même la différence entre les quantités d'électricité qui entrent par les surfaces $dx \times dz$, et $dy \times dz$ et celles qui sortent par les surfaces opposées sont

$$-k\,dt\,dx\,dy\,dz\,\frac{d^2V}{dy^2}$$

et

$$-k\,dt\,dx\,dy\,dz\,\frac{d^2V}{dx^2}.$$

Pendant l'espace de temps dt la charge électrique du volume $dx\ dy\ dz$ s'accroît donc de

$$-k\,dt\,dx\,dy\,dz\left(\frac{d^2V}{dx^2} + \frac{d^2V}{dy^2} + \frac{d^2V}{dz^2}\right).$$

Si l'état stable est établi cet accroissement de charge doit être nul, et l'on a

$$\frac{d^2V}{dx^2} + \frac{d^2V}{dy^2} + \frac{d^2V}{dx^2} = 0.$$

Cette équation est la même que celle qui correspond au cas où l'on étudie la variation du potentiel dans un milieu isolant (n° 5).

35. Si le corps conducteur est limité par deux surfaces cylindriques dont les génératrices sont parallèles à l'axe

de z, l'équation différentielle devient, comme dans e cas des condensateurs cylindriques

$$\frac{d^2V}{dx^2}+\frac{d^2V}{dy^2}=0$$

dont l'intégrale générale peut, lorsque les deux cylindres sont à base circulaire, se mettre sous la forme

$$V=M+A\log r-\log r'$$

ou

$$V=M+A\log\frac{r}{r'},$$

r et r' étant les distances du point dont le potentiel est V à deux points fixes situés sur la ligne des centres. On détermine la position de ces deux points par la condition que le potentiel soit constant pour les deux circonférences données, et les constantes M et A en faisant intervenir la valeur des potentiels de ces deux circonférences.

La position des deux points d'où partent les rayons r et r' est donnée comme dans le cas étudié au n° 7 par l'équation

$$(29)\qquad \alpha^2+\frac{a^2+R_1^2-R_2^2}{a}\alpha+R_1^2=0.$$

R_1 et R_2 étant les rayons des deux cylindres, ou des deux circonférences qu'ils découpent sur un plan normal, et a la distance des centres de ces circonférences.

Les deux points sont situés chacun à l'intérieur d'une des circonférences, si elles sont extérieures l'une à l'autre; si l'une d'elles est enveloppée par l'autre, l'un des points est à l'intérieur de la petite circonférence et l'autre à l'extérieur de la grande. Les deux valeurs de α sont données par les formules 12 dans le premier cas et par les formules 26 dans le second. La position de ces deux points peut se déterminer géométriquement comme on l'a vu au n° 14.

36. Les courbes équipotentielles et celles qui représentent la marche du fluide électrique dans un plan normal aux génératrices des cylindres sont des circonférences identiques à celles de la figure 5 et s'obtiennent de la même manière.

La courbe du flux électrique qui passe par un point est la circonférence menée par ce point et les deux points H et K, que donnent les valeurs de x et de x'. Pour avoir le centre de la courbe équipotentielle passant par le même point, il suffit de mener une tangente à cette circonférence, et de la prolonger jusqu'à son point de rencontre avec l'axe des x.

37. La direction du courant est, en chaque point, normale à la courbe équipotentielle qui passe par ce point, et pour une étendue ds de cette courbe, il a pour intensité

$$dI = -klds \cdot \frac{dV}{dn},$$

l étant la longueur des deux cylindres et k la conductibilité absolue de la matière qui les sépare.

L'intégrale de cette expression prise pour l'étendue entière d'une courbe enveloppant l'un des électrodes donne l'intensité; elle peut donc se mettre sous la forme (n° 10)

$$I = -kl\int\left(\frac{dV}{dx}\,dy - \frac{dV}{dy}\,dx\right).$$

La valeur de cette intégrale pour un terme général tel que

$$A \log r \quad \text{ou} \quad A \log \sqrt{(x-m)^2 + (y-n)^2}$$

est égale à

$$A \operatorname{arc\,tang} \frac{y-n}{x-m}.$$

Comme on l'a vu au n° 11, cette intégrale a pour valeur $2\pi A$ si le point d'où partent les rayons vecteurs, et dont les coordonnées sont m et n, est à l'intérieur de la courbe, et est nulle si ce point lui est extérieur.

Or, si l'on considère une courbe qui enveloppe une des électrodes, un seul des points d'où partent les rayons r se trouve à l'intérieur; l'intégrale générale se réduit donc à $2\pi A$, et l'on a

$$I = -2\pi k l A.$$

Quant à la valeur de A, elle a été donnée au n° 11

$$A = \frac{2(V_1 - V_2)}{L \dfrac{a\alpha' - R_1^2}{a\alpha - R_1^2}}.$$

38. Si ρ est la résistance de la couche conductrice qui sépare les deux cylindres, on a

$$I = \frac{V_2 - V_1}{\rho},$$

ou

$$\rho = \frac{V_2 - V_1}{I}$$

en remplaçant $V_2 - V_1$ par les valeurs que donnent les équations précédentes, on arrive à

$$\rho = \frac{L \dfrac{a\alpha' - R_1^2}{a\alpha - R_1^2}}{4\pi k l}.$$

Enfin, en substituant à la place de α et de α' les valeurs données par l'équation 29, on trouve, en remplaçant a par $b + R_2 + R_1$:

1° Si les deux cylindres sont extérieurs l'un à l'autre

$$\rho = \frac{1}{4\pi k l} L \frac{b^2 + 2bR_1 + 2bR_2 + 2R_1R_2 + \sqrt{b(b + 2R_1)(b + 2R_2)(b + 2R_1 + 2R_2)}}{b^2 + 2bR_1 + 2bR_2 + 2R_1R_2 - \sqrt{b(b + 2R_1)(b + 2R_2)(b + 2R_1 + 2R_2)}}, \tag{39}$$

2° Si le cylindre de rayon R_2 entoure le cylindre de rayon R_1

$$(30) \qquad \rho = \frac{1}{4\pi kl} \mathrm{L} \frac{2bR_2 + 2R_1R_2 - b^2 - 2bR_1 + \sqrt{b(b + 2R_1)(2R_2 - b)(2R_2 - b - 2R_1)}}{2bR_2 + 2R_1R_2 - b^2 - 2bR_1 - \sqrt{b(b + 2R_1)(2E_2 - b)(2R_2 - b - 2R_1)}}.$$

39. Ces équations peuvent se discuter comme celles qui sont relatives au pouvoir condensant.

Pour une situation donnée des deux cylindres, on a entre la capacité électro-statique S et la résistance ρ la relation

$$S\rho = \frac{1}{4\pi k}$$

ou

$$S\rho = \frac{c}{4\pi k},$$

si c est le pouvoir spécifique inducteur de la matière isolante.

On peut mettre cette expression sous la forme bien connue

$$S\rho = \frac{c\gamma}{4\pi}$$

en représentant par γ la résistance spécifique du conducteur, inverse de la conductibilité k.

40. Les formules 29 et 30 conduisent à des relations analogues à celles du n° 27 et donnent pour la résistance d'un long conducteur tel qu'un fil télégraphique :

1° S'il est situé à une distance b de la terre et si θ est son rayon

$$\rho_1 = \frac{\log \frac{2b}{\theta}}{4\pi kl \times 0.217}.$$

2° Si les dérivations sont dues uniquement à la présence d'un fil voisin de même diamètre situé à la dis-

tance b

$$\rho_2 = \frac{\log \frac{b}{\theta}}{2\pi k l \times 0.217}.$$

3° Enfin, dans le cas de deux cylindres concentriques de rayons R_2 et R_1, qui est celui des câbles sous-marins.

$$\rho_3 = \frac{\log \frac{R_2}{R_1}}{4\pi k l \times 0.217}.$$

41. La résistance opposée par un conducteur isolé à son extrémité peut se mesurer à l'aide d'un galvanomètre; le produit de cette résistance par la longueur de la ligne fait connaître la résistance de la dérivation qui correspond à l'unité de longueur; mais le résultat n'est exact que dans le cas où la conductibilité spécifique du diélectrique est extrêmement faible par rapport à celle de la matière qui constitue les conducteurs, ou si la longueur de la ligne est suffisamment petite.

Lorsqu'il n'en est pas ainsi le potentiel électrique décroît à mesure que l'on s'éloigne du point de départ ainsi que la quantité d'électricité qui passe par l'enveloppe ou l'espace environnant et par suite le produit ρl donne un chiffre supérieur à la résistance réelle du diélectrique par unité de longueur.

42. On peut tenir compte de cette variation du potentiel dans le cas où la conductibilité du diélectrique est constante.

Représentons par n sa résistance par unité de longueur de la ligne, n étant, par exemple, le coefficient

$$\frac{\log 2 \frac{b}{\theta}}{4\pi k \times 0.217},$$

dans le cas d'un fil de diamètre θ situé à une distance b

du sol. On a $\rho = \frac{n}{l}$, ou, si la longueur l est très petite et égale à Δx,

$$\rho = \frac{n}{\Delta x}.$$

On peut considérer la dérivation qui correspond à chaque élément Δx comme due à un conducteur situé au commencement de l'élément et dont la résistance est égale à $\frac{n}{\Delta x}$.

Supposons que l'origine des coordonnées se trouve à l'extrémité de la ligne, que y représente la résistance depuis cette extrémité jusqu'à un point donné situé à une distance x, en tenant compte de toutes les dérivations, qu'à ce point se trouve la dérivation $\frac{n}{\Delta x}$, et à la suite un élément de fil conducteur Δx dont la résistance est $\frac{\Delta x}{hs}$, h représentant la conductibilité du conducteur et s sa section.

La résistance due à la combinaison de la dérivation $\frac{n}{\Delta x}$ et de la partie x de la ligne sera égale, d'après les lois des courants dérivés, à

$$\frac{\frac{n}{\Delta x} y}{\frac{n}{\Delta x} + y},$$

ou à

$$\frac{ny}{n + y\Delta x}.$$

En ajoutant la résistance de l'élément Δx, on a pour la résistance depuis l'extrémité de la ligne jusqu'à l'élément Δx, en y comprenant cet élément,

$$\frac{ny}{n + y\Delta x} + \frac{\Delta x}{hs}.$$

D'un autre côté la résistance y étant une fonction, fx, de la distance x comprise entre le point considéré et l'extrémité de la ligne, on a, lorsque cette distance devient $x + \Delta x$

$$y' = f(x + \Delta x)$$

ou

$$y' = y + \frac{dy}{dx}\Delta x + \frac{d^2y}{dx^2}\Delta x^2 + \text{etc.}$$

Si l'on égale cette valeur à la précédente, on a la relation

$$\frac{ny}{n + y\Delta x} + \frac{\Delta x}{hs} = y + \frac{dy}{dx}\Delta x + \frac{d^2y}{dx^2}\Delta x^2 + \text{etc.}$$

En multipliant les deux membres par $n + y\Delta x$, divisant par Δx et négligeant les termes qui contiennent encore ce facteur, on arrive à l'équation :

$$\frac{n}{hs} = y^2 + n\frac{dy}{dx}$$

qui peut se mettre sous la forme

$$dx = \frac{ndy}{\frac{n}{hs} - y^2} = \frac{1}{2}\sqrt{nhs}\left(\frac{dy}{\sqrt{\frac{n}{hs}} + y} + \frac{dy}{\sqrt{\frac{n}{hs}} - y}\right).$$

43. L'intégrale générale est

$$x = \frac{1}{2}\sqrt{hsn}\,\mathrm{L}\,\frac{\sqrt{\frac{n}{hs}} + y}{\sqrt{\frac{n}{hs}} - y} + \mathrm{C},$$

qui conduit pour la valeur de y à la formule

$$(30) \qquad y = \sqrt{\frac{n}{hs}}\left(\frac{e^{\frac{2x}{\sqrt{nhs}}} - c}{e^{\frac{3x}{\sqrt{nhs}}} + c}\right)$$

c étant une constante qu'on détermine par la condi-

tion que, pour $x=0$, y ait une valeur connue qui représente la résistance qui se trouve à l'extrémité de la ligne (*).

Si le conducteur est isolé à son extrémité, y doit être infini pour $x=0$ et l'on a

$$c=-1.$$

Si donc Y représente la résistance totale d'une ligne de longueur x isolée à son extrémité on a

$$Y=\sqrt{\frac{n}{hs}}\left(\frac{e^{\frac{2x}{\sqrt{nhs}}}+1}{e^{\frac{2x}{\sqrt{nhs}}}-1}\right).$$

44. La valeur de n peut se déterminer facilement par l'expérience. Lorsque la communication avec la terre est établie à l'extrémité de la ligne, on a $y=0$ pour $x=0$ dans la formule 30, et par suite $c=+1$. Si Y' est la résistance que la ligne offre dans ces conditions, et qu'on peut mesurer à l'aide du galvanomètre, on a

$$Y'=\sqrt{\frac{n}{hs}}\left(\frac{c^{\frac{2x}{\sqrt{nhs}}}-1}{c^{\frac{x}{\sqrt{nhs}}}+1}\right).$$

En faisant le produit de Y par Y' on arrive à la relation

$$YY'=\sqrt{\frac{n}{hs}},$$

d'où

$$n=hsY^2Y'^2.$$

E. E. Blavier.

(*) Nous avons donné la discussion de la formule en tenant compte des diverses conditions qui peuvent se présenter dans la pratique, dans un article publié dans les *Annales télégraphiques* en septembre-octobre 1858.

NOTE RELATIVE

A DES

EXPÉRIENCES FAITES SUR DES FILS DE FER

ET DES FILS D'ACIER.

Ayant soumis depuis un certain temps un assez grand nombre de fils de fer employés sur les lignes françaises, ainsi que des fils d'acier, à des essais tant électriques que mécaniques, il me paraît utile de publier les résultats obtenus. Les fils de fer de même provenance différant peu les uns des autres, je ne donne (sauf pour l'une) que les essais effectués sur un fil de chaque usine.

Les fils dits d'acier sont des fils d'acier fondu soit par le procédé Bessemer, soit au moyen des fours Siémens-Martin.

TABLEAU N° 1.

Résistances électriques de fils de fer recuits et galvanisés, provenant de diverses usines françaises et d'une usine anglaise.

DÉSIGNATION des fils.	DIAMÈTRE du fil en millimètres.	LONGUEUR sur laquelle on a opéré.	TEMPÉRATURE pendant l'opération.	RÉSISTANCE trouvée en ohms.	RÉSISTANCE kilométrique à 0°.	RÉSISTANCE kilométrique du fil à 0° pour un diamètre = 1 millim. en ohms.
		mèt.	°	u.	u.	u.
1	4,025	164,80	10,5	1,76	10,02	162,32
1 *bis*	3,03	165	11,9	2,88	16,23	149
2	4,055	262,8	14,3	2,472	8,619	141,72
3	4,1	254,9	—0,5	2,254	8,857	148,89
4	4,01	253,65	14,1	2,351	8,713	140,111
5	4,4	167	28	1,47	7,53	145,92

Le n° 4 provient de fonte au bois, également affinée au bois.

Le n° 5 est un fil anglais.

TABLEAU N° 2.

Résistances électriques de fils d'aciers divers.

(Ceux désignés par la même lettre ont la même provenance.)

DÉSIGNATION des fils.	DIAMÈTRE du fil en millimètres.	LONGUEUR sur laquelle on a opéré.	TEMPÉRATURE pendant l'opération.	RÉSISTANCE trouvée.	RÉSISTANCE kilométrique à 0°.	RÉSISTANCE kilométrique de ce fil à 0° pour un diamètre = 1 millim.
		mèt.	°	u.	u.	u.
A	4,83	93	8	0,96	10,009	233,65
A_1	4,91	52,40	20,1	0,50	8,85	213,28
A_2	2,97	169	14	4,25	23,10	203,76
A_3	2,2	172,50	11,9	8,11	45	217,80
A_4	1,52	173	12,3	16,4	90,48	259,04
B	4,09	165	21,5	1,635	8,72	145,87
B_1	4,01	165	23	1,765	9,34	150,18
B_2	3,07	165	25	2,965	15,52	146,27
B_3	3,70	165	25	2,145	11,23	153,74
C	3,01	162,75	10	4,32	24,97	226,24
C_1	3,07	150	14	3,93	24,17	227,84
C_2	4,01	162,82	11,6	2,41	13,80	221,92
C_3	4,036	161	10,2	2,42	14,13	230,08

Les fils de provenance A ne sont pas galvanisés : tous les autres le sont.

On a dû déterminer les résistances de tous ces fils à la température de 0°, afin de pouvoir les comparer entre elles et avec les résistances des fils de fer. Ce calcul a été fait en prenant pour coefficient de variation de résistance du fil d'acier le coefficient de variation de résistance du fil de fer, ce qui n'est peut-être pas tout à fait exact.

TABLEAU N° 3.

Résultats des essais mécaniques effectués sur les fils de fer du tableau n° 1.

(Les mêmes numéros désignent les mêmes fils.)

DÉSIGNATION des fils.	DIAMÈTRE du fil.	SECTION du fil en millimètr. carrés.	NOMBRE de pliages à angle droit avant la rupture.	TRACTION de rupture des fils.	TRACTION de rupture par millimèt. carré.	ALLONGEMENT du fil au moment de la rupture.
	millim.	millim.		kg	kg	p. 100
1	4,025	12,7235	5	500	44	9
1 *bis*.	3,03	7,2106	11	293	40,6	13
2	4,055	12,9143	9	580	45	18,4
3	4,1	13,2025	8	540	40,9	13,2
4	4,01	12,6293	8	465	36,8	6,1
5	4,4	15,2053	9	690	45,3	10

TABLEAU N° 4.

Résultats des essais mécaniques effectués sur les fils d'acier du tableau n° 2.

(Les mêmes lettres désignent les mêmes fils.)

DÉSIGNATION des fils.	DIAMÈTRE du fil.	SECTION du fil en millimètr. carrés.	NOMBRE de pliages à angle droit avant la rupture.	TRACTION de rupture des fils.	TRACTION de rupture par millimèt. carré.	ALLONGEMENT du fil au moment de la rupture.
	millim.	millim.		kg	kg	p. 100
A	4,83	11,2225	2	1610	143,5	2,5
A_1	4,91	17,3637	3	1450	83,5	1,8
A_2	2,97	6,9279	7	640	92,3	1,55
A_3	2,2	3,4871	11	570	163,4	1,8
A_4	1,52	1,8145	13	260	143,3	2,7
B	4,09	13,1382	9	490	37,3	18
B_1	4,01	12,6293	3	505	39,98	13
B_2	3.01	7,1158	12	300	42,1	9
B_3	3.70	10,7521	14	380	35,3	3
C	3,01	7,1158	6	608	85,4	5
C_1	3,07	7,4023	8	535	72,2	4,5
C_2	4,01	12,6293	6	900	71,2	5
C_3	4,036	12,7690	5	925	75,1	5

Il résulte de l'examen du tableau n° 1 que :

1° Le fil de fer provenant de la fonte au bois, également affinée au bois, a une conductibilité plus grande

que les autres, mais a une résistance mécanique moins grande.

2° A l'exception du premier (qui provient de la même usine que le second) les différences de conductibilité entre ces divers fils sont peu considérables.

3° La moyenne de la résistance des fils 1bis, 2, 3, 4 est de 145 unités à 0°; or, d'après les tables du traité de M. Latimer Clarck, la résistance d'un fil de fer pur, ayant 1 millimètre de diamètre et 1000 mètres de long, est de 125 unités à 0°, d'où l'on déduit que la conductibilité des fils de fer employés en France est, en moyenne, les 0,86 de celle du fil de fer pur. On peut donc admettre que les fils de fer employés sur nos lignes ont une conductibilité convenable.

4° Le fil de fer anglais, qu'on m'a donné comme étant semblable à celui employé sur les lignes anglaises, a une conductibilité égale à celle des fils des lignes françaises. Le fil de fer au bois galvanisé allemand a une conductibilité également semblable.

L'examen des quatre tableaux montre :

5° Que les fils d'acier ont une conductibilité beaucoup plus petite que celle des fils de fer, mais ils offrent une résistance mécanique beaucoup plus grande. Seuls, les échantillons de provenance B sont aussi conducteurs, mais leur résistance à la traction est un peu inférieure à celle des fils de fer de même conductibilité. Donc, dans l'état actuel, sauf pour des cas rares où l'on aurait besoin d'un fil ayant une résistance mécanique très grande, on doit préférer les fils de fer aux fils d'acier pour l'établissement des lignes télégraphiques aériennes.

LAGARDE.

ESSAI PNEUMATIQUE

D'UN CONDUIT TÉLÉGRAPHIQUE.

Lorsqu'on établit une ligne télégraphique en tuyaux, soit dans les rues d'une ville, soit sur une route quelconque, la pose de la conduite est fractionnée par sections d'une longueur variable suivant les cas, de 400 mètres ou de 500 mètres par exemple. La réception définitive des travaux devant avoir lieu seulement après leur complet achèvement, au fur et à mesure de la pose de chaque section, on procède à sa réception provisoire.

Cette réception comporte :

1° La vérification de l'alignement de la conduite ;

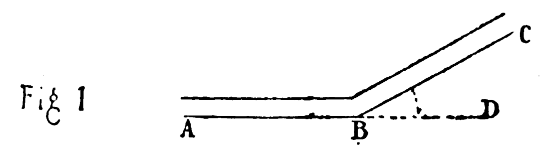
2° La vérification de son étanchéité.

La vérification de l'étanchéité comprend elle-même deux parties. Pendant la première partie on charge la section de conduite en essai d'air comprimé à 2 atmosphères ; les fuites qui se produisent à travers les joints des tuyaux déterminent une certaine perte de pression que l'on constate à l'aide d'un manomètre et qui, en dix minutes, ne doit pas dépasser 1 dixième d'atmosphère. La deuxième partie de la vérification consiste à laisser la conduite sous pression tout en la recouvrant d'une première couche de terre de $0^{m},20$ environ. Pendant tout le temps que dure ce remblai, le manomètre ne doit pas accuser une perte supérieure à une certaine limite réglementaire. Cette deuxième opération a pour but de s'assurer que l'étanchéité de la conduite, obtenue par une bonne

confection des joints, n'est point détruite par une exécution trop rapide et peu soignée du remblai.

§ 1.

Avant de procéder à l'essai pneumatique d'une section on commencera toujours par vérifier si son alignement est satisfaisant. On peut être plus ou moins sévère sur la rectitude de cet alignement, mais il est absolument nécessaire, pour des considérations relatives au tirage des câbles, de s'assurer qu'en aucun point de la ligne deux tuyaux consécutifs tels que AB et BC (*fig.* 1) ne fassent



un angle CBD trop prononcé. Si l'on tolérait seulement à chacun des joints A, B, C, D, E,.... (*fig.* 2) un angle de

Fig. 2

A B C D E F G H I

10′ en moyenne, la somme de tous ces angles pour une section de 500 mètres, les tuyaux ayant 2 mètres de longueur, serait de 42° et aurait pour effet d'augmenter d'une manière notable, pendant le tirage des câbles, leur frottement sur les parois des tuyaux. Il est vrai que les angles A, B, C,... au lieu de se produire tous dans le même sens sur une grande largeur se produisent alternativement à droite et à gauche, et que par conséquent leur effet au point de vue du tirage des câbles est très diminué. Toutefois la remarque précédente démontre combien il importe d'obtenir un alignement aussi parfait

que possible si l'on veut diminuer notablement les résistances que l'on rencontre au tirage des câbles et que bien d'autres causes d'ailleurs tendent à augmenter.

Ainsi, avant l'épreuve d'une section, on la parcourra sur toute sa longueur pour la faire dresser au besoin, de telle sorte que dans les parties droites du tracé de la ligne la conduite soit parfaitement droite et que dans les parties courbes elle décrive des courbes très régulières. Mais comme l'alignement une fois obtenu pourrait être dérangé soit pendant l'essai par les ouvriers qui parcourent la tranchée soit pendant le remblai, il sera indispensable de bien caler les tuyaux à l'aide de cavaliers en terre. Si malgré cette précaution les joints se dérangeaient encore pendant l'essai, on aurait soin de faire rectifier l'alignement une dernière fois avant le remblai.

§ 2.

L'essai pneumatique de la conduite se fait, ainsi que nous l'avons dit, à une pression d'air de 2 atmosphères effectives. A cet effet on dispose de réservoirs RR (*fig.* 3) dans lesquels se trouve comprimée à l'avance une certaine masse d'air à une pression suffisante: 4, 5, 6 atmosphères par exemple. Au moment de l'épreuve on relie les réservoirs à la section de conduite AB à l'aide d'un tube en plomb ou en caoutchouc *u*A et l'on ouvre le robinet *u*. Une partie de l'air comprimé dans les réservoirs se répand alors dans la conduite, où l'on peut obtenir ainsi la pression voulue. Tant que le manomètre indiquera une perte de pression par les joints supérieure à 1 dixième d'atmosphère en dix minutes, on continuera à parcourir la conduite en vérifiant chaque joint et en bouchant toutes les fuites.

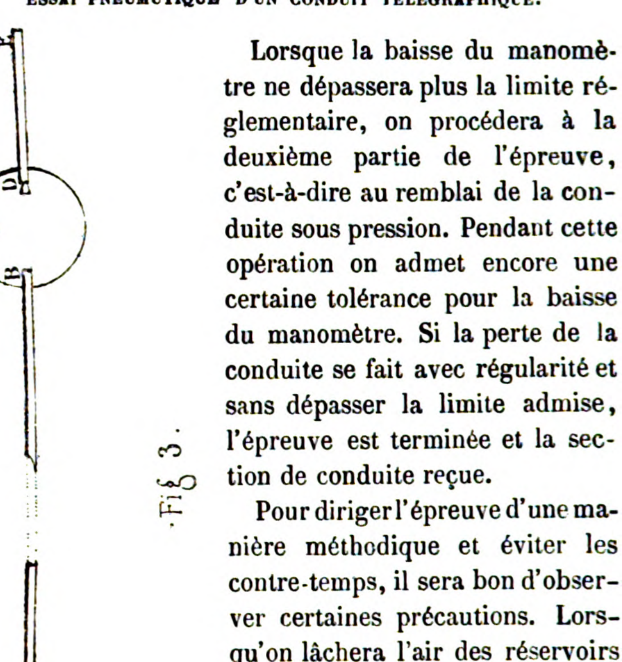


Fig. 3.

Lorsque la baisse du manomètre ne dépassera plus la limite réglementaire, on procédera à la deuxième partie de l'épreuve, c'est-à-dire au remblai de la conduite sous pression. Pendant cette opération on admet encore une certaine tolérance pour la baisse du manomètre. Si la perte de la conduite se fait avec régularité et sans dépasser la limite admise, l'épreuve est terminée et la section de conduite reçue.

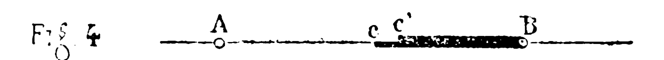
Pour diriger l'épreuve d'une manière méthodique et éviter les contre-temps, il sera bon d'observer certaines précautions. Lorsqu'on lâchera l'air des réservoirs dans la conduite, on commencera par n'envoyer qu'une pression relativement faible, une demi-atmosphère par exemple. Il peut exister le long de la conduite des fuites très importantes soit que les joints soient très mal faits, soit même que l'on ait oublié d'achever un joint. Si l'on envoyait du premier coup une forte pression, elle pourrait se perdre

complètement et tout à fait inutilement par ces grosses fuites. La faible pression que l'on enverra sera suffisante pour les accuser et pour permettre de les boucher au plus vite. Une fois ces fuites bouchées, on augmentera la pression jusqu'à 2 atmosphères, afin de reconnaître si les pertes restantes donnent moins de 1 dixième de baisse. Si, avant que ce résultat soit atteint, la pression dans la conduite vient à baisser au-dessous de 2 atmosphères, on y renvoie un peu d'air des réservoirs, de manière à toujours partir de 2 atmosphères à chaque observation du manomètre.

Comme les fuites d'air peuvent se produire non seulement à travers les joints défectueux mais encore à travers la fonte lorsque celle-ci présente des soufflures, des gouttes froides ou des défauts quelconques, il sera bon d'examiner également le corps des tuyaux. Souvent, par exemple, avec des tuyaux de certaines provenances, on constatera que l'emboîtement est piqué plus ou moins fortement. Quelquefois un défaut de fonte pourra se boucher avec un peu de plomb; mais généralement, si le défaut est grave, on sera obligé de remplacer le tuyau défectueux. Dans ce dernier cas, comme chaque changement de tuyau est une opération assez longue ayant pour effet de suspendre l'épreuve et de faire perdre complètement la pression qui est dans la conduite, on marquera à l'avance tous les tuyaux de la section soumise à l'épreuve, qui présenteront des défauts sérieux, afin de les remplacer en même temps.

Enfin pendant le remblai de la conduite sous pression on ne devra pas perdre de vue le manomètre. Les remblayeurs étant groupés de manière à se développer sur une très petite longueur commenceront leur opération à une extrémité B de la section AB en essai (*fig. 4*) et con-

tinueront en marchant de B vers A, et en recouvrant la conduite sur toute la longueur d'une couche de terre de 0m,20 environ. Si à un certain moment, la partie BC'



étant déjà remblayée et l'équipe occupant le développement C'C, on s'aperçoit au manomètre que la pression baisse d'une manière anormale, c'est qu'une fuite viendra de se produire tout à coup, par suite du choc d'une pierre ou d'un bloc quelconque qui aura déboîté un joint ou même fêlé un tuyau. On suspendra immédiatement le remblai et l'on se mettra à la recherche de la fuite entre les points C et C'. Il peut se faire aussi que la fuite constatée, au lieu d'être causée par le remblai dans un joint de tuyaux, se soit produite dans le joint de la chambre B avec son couvercle par suite de la pression qui aura fait céder peu à peu le mastic; on ira donc vérifier également la fermeture de la chambre B. Quoi qu'il en soit, la fuite étant trouvée et bouchée, on recommencera la première partie de l'épreuve, et ce n'est que lorsqu'on se sera assuré que la baisse du manomètre, à 2 atmosphères, ne dépasse pas 1 dixième en dix minutes que l'on fera continuer le remblai de C' en A.

Comme complément de l'épreuve qui vient d'être décrite, on aura soin de faire tasser *au pied* la couche de terre de 0m,20 qui recouvre directement la conduite. Ensuite on jettera une seconde couche de terre de 0m,20 par dessus la première, et ce n'est qu'alors que l'on commencera à faire usage de pilons pour le tassement du remblai. Avec toutes ces précautions on pourra être assuré que l'étanchéité de la conduite obtenue avant le remblai n'est point détruite par cette dernière opération.

Dans le cas où le sol de la tranchée ne se composera que de roche, de tuf ou de craie, on fera transporter le long des fouilles une quantité suffisante de terre fine pour former la première couche de remblai destinée à servir de matelas et de protection pour la conduite. Si la tranchée renferme de la terre mélangée avec de grosses pierres, il suffira de la purger de ces pierres pour pouvoir l'utiliser.

§ 3.

L'épreuve réglementaire, telle qu'elle est décrite plus haut, doit porter en même temps sur la section AB et sur la chambre C′ comprise entre cette section et la précédente DE (*fig.* 3). Seulement, comme on ne peut évidemment songer à éprouver en même temps les sections précédentes, il faut les isoler de la section en essai. A cet effet on obturera, à l'aide d'un tampon D en caoutchouc ou d'un obturateur quelconque, l'extrémité de la section DE qui vient déboucher dans la chambre C′. Lorsque l'épreuve de la section AB sera terminée, on retirera le tube *u*A qui relie la conduite aux réservoirs RR; on obturera la tubulure A comme pour l'épreuve précédente on avait obturé la tubulure D, puis on fermera la chambre C et l'on pourra alors essayer la section suivante par la chambre qui vient après la chambre C.

Les tampons tels que D, qu'on laisse dans chaque chambre et qui isolent ainsi les sections de conduite les unes des autres, ont encore un autre but. Si l'étanchéité d'une section ou d'une chambre venait à être détruite après le remblai par une cause quelconque et que la conduite fût envahie par des eaux souterraines, sans les obturateurs ces eaux pourraient se répandre dans les sections voisines et inonder une grande longueur de con-

duite, surtout si celle-ci est établie sur un terrain en pente. Il suffirait ainsi d'un seul point défectueux pour rendre inutile l'étanchéité obtenue à grands soins sur plusieurs sections.

Il serait même désirable, à ce point de vue, que les obturateurs fussent établis de manière à résister à une pression d'eau venant de l'intérieur de la conduite et qui tendrait à les chasser et par là même à les rendre inutiles.

§ 4.

Nous allons étudier dans ce paragraphe quelle est la meilleure disposition à adopter pour les réservoirs RR (*fig.* 3) en vue du fonctionnement rapide des épreuves.

D'abord l'emploi de deux réservoirs est préférable à celui d'un seul réservoir de volume double. Si en effet l'un d'eux vient à faire défaut et à avoir besoin de réparations, l'autre pourra parfaitement suffire pour continuer, provisoirement au moins, les épreuves. En outre cette disposition permet, lorsqu'on le veut, de réserver la pression dans l'un des réservoirs tandis qu'on met l'autre en communication avec la conduite.

En second lieu les deux réservoirs devront être complètement indépendants l'un de l'autre et pouvoir communiquer soit ensemble soit séparément, à volonté, avec le corps de pompe P ou avec la conduite. En outre celle-ci devra être mise en communication directe avec le corps de pompe, de manière que l'on puisse envoyer directement l'air comprimé de la pompe dans les tuyaux sans l'intermédiaire des réservoirs. C'est ce que l'on aura intérêt à faire lorsque, par suite de fuites importantes dans les joints, la pression sera descendue au-dessous de 2 atmosphères dans les réservoirs. Si en effet, dans ce

cas la conduite communiquait avec la pompe, par l'intermédiaire des réservoirs, on serait forcé, pour faire monter la pression à 2 atmosphères dans les tuyaux, de la faire monter également à 2 atmosphères dans les réservoirs, ce qui rendrait évidemment l'opération plus longue.

On réalisera les dispositions précédentes à l'aide des tubes de communication P*r*, *rq*, *rq*, SM, V*t*, V*t*, M*u*. Chacun des deux robinets *r*, *r* permettra d'ouvrir ou de fermer l'un des réservoirs R, R du côté de la pompe P; chacun des robinets *t*, *t* permettra d'ouvrir ou de fermer l'un des réservoirs du côté de la conduite. Quant aux robinets *u* et *s*, en les ouvrant tous les deux on mettra la conduite directement en communication avec la pompe P. Enfin sur le carrefour M sera monté en dérivation un manomètre métallique gradué en atmosphères et dixièmes d'atmosphères, qui pourra communiquer à volonté soit avec la conduite seule pendant l'épreuve (en ouvrant le robinet *u*), soit avec l'un ou l'autre des réservoirs ou tous les deux pour se rendre compte de leur pression (en ouvrant l'un ou l'autre des robinets *t*, *t* ou tous les deux), soit même avec le corps de pompe P pour en vérifier l'étanchéité (en ouvrant le robinet S). Comme accessoire on pourra monter sur l'un des réservoirs un sifflet qui servira aux signaux de commandement pendant l'épreuve, en particulier pour le cas où l'on veut faire arrêter instantanément le remblai sous pression.

Ces détails de construction étant indiqués, il reste à déterminer le volume que l'on doit donner aux réservoirs. Or ce volume dépend essentiellement du volume intérieur des sections de conduite à éprouver, lequel dépend lui-même de la longueur de celles-ci. Comme type d'épreuve on pourra prendre par exemple celle d'une section de 500 mètres de longueur, y compris une chambre. Si l'on

a des tuyaux de 0m,040 de diamètre intérieur, le volume d'une longueur de 500 mètres de conduite sera très approximativement en litres : $\pi \times \frac{\overline{0,4}^2}{4} \times 5.000$ soit environ 630 litres; le volume de la chambre sera de 70 litres environ; le volume intérieur de la section sera donc de 700 litres.

Le volume de la section de 500 mètres étant connu, pour calculer le volume V à donner aux réservoirs on pourra poser le problème de la manière suivante :

Calculer le volume V tel que si, la pression étant montée à l'avance à n atmosphères dans les réservoirs, on les met en communication avec la conduite, dans laquelle la pression est nulle, il s'établisse finalement une pression résultant de 2 atmosphères dans la conduite et dans les réservoirs.

L'équation du problème est

$$(1) \qquad V \times n = (700 + V) \times 2.$$

On tire de là

$$(2) \qquad V = \frac{1400}{n - 2}.$$

Cette formule peut se mettre sous la forme

$$(3) \qquad n = \frac{1400}{V} + 2.$$

L'équation (1) montre que plus le volume V sera restreint, plus la masse d'air qu'il est nécessaire de comprimer à l'avance dans les réservoirs, et qui est égale à Vn, sera faible. Ainsi en diminuant le volume V on domine la masse d'air à comprimer dans les réservoirs en même temps qu'on réalise une économie de matériel. Mais la formule (3) montre que par contre l'on augmente la pression n. Or le travail à produire pour obtenir une

masse d'air à la pression n sous le volume V ne dépend pas seulement du produit Vn. Pour une même masse, Vn, ce travail est d'autant plus considérable que n est plus grand. Il résulte de là que l'on ne devra pas trop restreindre le volume V et qu'il y aura lieu d'établir une certaine balance entre ces différentes considérations. On pourra prendre par exemple $n = 4$. La formule (2) donne alors

$$V = 700 \text{ litres},$$

c'est-à-dire que l'on donnera aux réservoirs un volume égal au volume maximum des sections à éprouver.

Si les tuyaux, au lieu d'avoir $0^m,040$ de diamètre intérieur, avaient $0^m,50$, on trouverait pour le volume d'une section de 500 mètres, y compris la chambre, 1055 litres. Ce serait là également le volume à attribuer aux réservoirs.

Si l'on veut monter les réservoirs à l'avance à 4 atmosphères, la théorie indique donc que ceux-ci devront avoir une contenance de 700 litres ou de 1055 litres, suivant qu'il s'agit de tuyaux de $0^m,040$ ou de $0^m,050$. Dans la pratique, afin d'avoir toujours une certaine réserve d'air comprimé après avoir déjà envoyé 2 atmosphères dans la conduite, il sera bon de forcer ces chiffres et de prendre pour V : 800 à 900 litres avec des tuyaux de $0^m,040$ et 1200 à 1300 litres avec des tuyaux de $0^m,050$. D'autres considérations, indépendamment des précédentes, peuvent d'ailleurs faire modifier beaucoup les chiffres que nous venons de calculer et les réduire dans de fortes proportions.

§ 5.

Nous donnons ci-après la solution de quelques problèmes qui peuvent se présenter dans la pratique pendant l'essai pneumatique d'une section de conduite.

1° *Étant donné le volume* V *de la conduite et la capacité* C *du ou des réservoirs, à quelle pression devra-t-on monter ceux-ci pour avoir* 2 *atmosphères lorsqu'on les aura mis en communication avec la conduite?*

P désignant la pression demandée, la masse d'air à comprimer dans le volume C est égale à $C \times P$. Lorsqu'on aura établi la communication entre les réservoirs et la conduite, cette masse comprimée $C \times P$ se répartira sur un volume égal à $C + V$. Par suite la pression ne sera plus que $\frac{C \times P}{C + V}$. Pour qu'elle soit égale à 2 atmosphères il faut que l'on ait

$$\frac{C \times P}{C + V} = 2,$$

d'où

$$P = 2\,\frac{C + V}{C}.$$

Si par exemple la section a 400 mètres de longueur, le diamètre des tuyaux étant de 0m,040 et que l'essai porte en outre sur la chambre, dont le volume est de 70 litres, on aura

$$V = \pi \times \frac{\overline{0.4}^2}{4} \times 4000 + 70 = 572^{\text{litres}};$$

soit en outre $C = 600$ litres la capacité des réservoirs, la pression P devra être égale à

$$P = 2\,\frac{600 + 572}{600} = 3^{\text{atm}},9.$$

2° Si l'on a déjà dans la conduite une pression égale à P′, la pression P dont on a besoin est bien moins forte. En effet, avant d'établir la communication, on a dans les réservoirs une masse d'air comprimé égale à $C \times P$, dans la conduite une masse égale à $V \times P'$. Quand on

se répartit sur un volume égal à $C + V$. La pression résultante devant être de 2 atmosphères, on a

$$\frac{C \times P + V \times P'}{C + V} = 2,$$

d'où

$$P = \frac{2(C + V) - V \times P'}{C}.$$

Supposons que l'on ait, comme plus haut, $C = 600$ litres et $V = 572$, et que la pression initiale P' soit de $1^{atm.},4$. On devra avoir

$$P = \frac{2(600 + 572) - 572 \times 1.4}{600} = 2^{atm.},6 \text{ environ.}$$

3° *La conduite étant reliée avec les réservoirs, on constate au manomètre en dix minutes une baisse de* p *pressions due uniquement aux fuites qui existent le long des tuyaux. Quelle serait la baisse du manomètre si l'on fermait la communication de la conduite avec les réservoirs?*

Supposons que le manomètre soit gradué en dixièmes d'atmosphères. La pression baissant de p dixièmes d'atmosphères en dix minutes, l'ensemble des volumes V et C perd dans ce temps une masse d'air égale à : $p\,(V + C)$. Cette perte ayant lieu d'ailleurs uniquement par la conduite serait la même si l'on supprimait la communication avec les réservoirs. Mais alors, comme elle se répartirait seulement sur le volume V, la baisse de pression p' serait égale à

$$p' = \frac{p(V + C)}{V}.$$

Soit, comme précédemment $V = 572$ litres et $C = 600$; soit en outre $p = 1$ dixième et 1/2 d'atmosphère. On trouvera

$$p' = 3 \text{ dixièmes environ.}$$

La perte exprimée en litres est égale soit à $p\,(V + C)$

établit la communication, la masse totale $C \times P + V \times P'$ soit à $p' \times V$. En effectuant les calculs, on trouve qu'elle est de 175 lit,8 en dix minutes.

Lorsqu'on procède à l'épreuve d'une action de conduite, on a soin de l'isoler des réservoirs afin que les indications du manomètre correspondent exactement à l'état de la conduite. La communication avec les réservoirs aurait pour effet de rendre les pertes beaucoup moins apparentes. Ainsi l'on voit que pour une même perte de 175 lit,8 en dix minutes, suivant qu'il y a communication ou non, la baisse de pression est de 1 dixième,5 ou de 3 dixièmes d'atmosphère. Si la section était beaucoup moins longue, la différence entre ces deux nombres serait encore beaucoup plus considérable.

4° Supposons que pendant l'épreuve, par suite de fuites nombreuses, la pression ait baissé notablement. Pour la remonter à 2 atmosphères, à l'aide de la pompe on refoule de l'air dans les réservoirs en laissant ceux-ci en communication avec la conduite. Cette opération exigeant un certain temps, si l'on veut connaître d'après les indications du manomètre à un moment quelconque l'état de la conduite sans attendre que la pression soit remontée à 2 atmosphères, on aura à résoudre le problème suivant :

Etant donné le nombre n *de coups de piston par minute, la masse moyenne d'air* v *refoulée à chaque coup dans les réservoirs et l'accroissement* p *de pression au manomètre, calculer les pertes de la conduite.*

La masse d'air refoulée en une minute par la pompe est égale à $n \times v$. En dix minutes elle sera $10\, n \times v$. Or le manomètre n'accuse qu'une augmentation de pression égale à p, c'est-à-dire dans la conduite et les réservoirs une augmentation de masse d'air égale à

$p(C+V)$. La différence soit

$$10n \times v - p(C+V)$$

représente la perte des tuyaux. Si l'on supprimait la communication avec les réservoirs, ces pertes ne se répartissant que sur le volume V de la conduite, on observerait une baisse de pression égale à

$$p' = \frac{10n \times v - p(C+V)}{V}.$$

Si par exemple le nombre n de coups de piston par minute est 45, que la masse v déterminée préalablement soit de $0^{\text{lit}},70$ et l'accroissement moyen p de pression de $0^{\text{atm}},2$ en dix minutes, les volumes C et V étant respectivement de 600 et de 572 litres, on trouve

$$p' = \frac{10 \times 45 \times 0,70 - 0,2(600+572)}{572}$$

ou

$$p' = 1^{\text{dixième}},4 \text{ d'atmosphère en dix minutes.}$$

Il est à remarquer d'ailleurs que la pression actuelle dans la conduite n'étant pas de 2 atmosphères, cette valeur de p' n'est pas celle que l'on aurait à 2 atmosphères, car, pour un même état de joints, les pertes sont d'autant plus grandes que la pression est plus grande. On peut admettre approximativement que si celle-ci vient à doubler, les pertes doubleront également. Ainsi, la valeur $1^{\text{dixième}},4$ calculée pour p' correspondant à une pression de $1^{\text{atm}},5$, à 2 atmosphères la perte p' serait sensiblement égale à

$$1^{\text{dixième}},4 \times \frac{2}{1,5} = 1,9 \text{ environ.}$$

On ramènera donc facilement, dans chaque cas, par un calcul des plus simples, la perte p' à la pression normale de 2 atmosphères.

VASCHY.

SUR LA POLARISATION DES ÉLECTRODES

ET

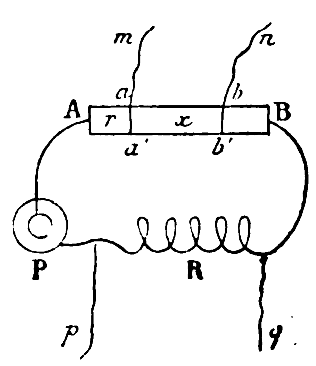
SUR LA CONDUCTIBILITÉ DES LIQUIDES.

NOTES PRÉSENTÉES A L'ACADÉMIE DES SCIENCES
PAR M. BOUTY.

I (*).

1. En 1876, M. Lippmann a décrit une méthode électrométrique pour la mesure de la conductibilité des liquides. On me permettra d'en rappeler le principe.

Le circuit d'une pile P comprend une résistance métallique connue R et une colonne cylindrique AB d'un électrolyte. Les électrodes A et B ont une section égale à celle du cylindre, de telle sorte que AB est parcouru par un courant uniforme et que le potentiel a une valeur constante dans toute l'étendue d'une section normale aa' quelconque du cylindre. Deux fils métalliques isolés et identiques entre eux, m et n, sont en communication avec deux sections aa', bb' comprenant entre elles la résistance liquide x à mesurer : on peut mettre ces fils en relation avec les deux pôles d'un électromètre capillaire, et, puisque dans ces conditions ils ne livrent passage à aucun courant, ils ne se polarisent pas, et la différence de potentiel e qu'ils présentent est égale à celle qui



(*) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 1er mai 1882.

existe entre les tranches liquides aa' et bb'. Soit i l'intensité du courant, on a donc

$$e = ix.$$

En mesurant de même la différence de potentiel E aux deux extrémités de la résistance connue R, on a

$$E = iR, \tag{2}$$

et, par suite,

$$x = \frac{e}{E} R, \tag{3}$$

$$i = \frac{E}{R}. \tag{4}$$

La méthode de M. Lippmann peut être étendue à a mesure des forces électromotrices de polarisation. Désignons en effet par p la polarisation de l'électrode A, par r la résistance du cylindre liquide Aa, la différence de potentiel y de l'électrode A et du fil m se compose : 1° de la polarisation p de A; 2° du produit ir qui mesurerait la différence de potentiel s'il n'y avait pas de polarisation. On a donc, en général (*),

$$y = ir + p \tag{5}$$

Quand on aura mesuré i et r par la méthode de M. Lippmann, l'équation (4) fournira la valeur de p.

2. Dans un premier groupe d'expériences, j'ai déterminé les polarisations d'électrodes de platine dans l'eau acidulée, produites par des courants de très faible densité (**).

(*) Cette formule suppose qu'il n'y a pas en A de résistance au passage de l'électricité; quand une telle résistance existe, elle provient soit d'un dégagement gazeux à la surface de l'électrode A, soit de la production à cette même surface d'un dépôt solide mauvais conducteur dont il est facile de constater la présence. Aucune de ces deux circonstances ne se présente dans les expériences qui font l'objet de cette Note.

(**) Dans ce cas, on peut rendra ir négligeable, en employant une résistance extérieure énorme, et l'on a simplement $y = p$.

Quelle que soit la force électromotrice de la pile, la polarisation de chacune des électrodes est d'abord inférieure à toute quantité mesurable : elle atteint sa limite en quelques minutes à l'électrode négative où elle est plus faible, en quelques heures à l'électrode positive où elle est considérable.

En tous cas, ***elle est le résultat du passage d'un courant qui traverse d'abord le voltamètre avec la pleine intensité déterminée par la force électromotrice et la résistance employées***, mais qui s'affaiblit progressivement à mesure que l'altération des surfaces de contact des électrodes et du liquide donne naissance à la polarisation. A chaque valeur attribuée à la force électromotrice et à la résistance correspond une valeur limite de la polarisation totale, toujours inférieure à la force électromotrice extérieure, et il s'établit un courant permanent d'intensité convenable pour maintenir cette polarisation limite. Dans une de mes expériences et pour une force électromotrice de 1^{volt}, le courant permanent est tel qu'il décomposerait $0^{gr},009$ d'eau en trois ans et demi environ ; la polarisation totale n'est toutefois que les 0,83 de la force électromotrice extérieure, et le courant représente encore les 0,17 de celui que donnerait la pile dans la résistance employée, si la polarisation n'existait pas.

J'insiste à dessein sur ces faits, bien qu'ils fussent en partie connus avant mes recherches. Il m'importait de les rappeler et de les préciser pour bien établir la signification des mesures dont il me reste à rendre compte.

Plusieurs physiciens inclinaient à attribuer aux liquides deux sortes de conductibilité : l'une ***électrolytique***, invoquée pour expliquer le passage des courants intenses qui mettent en liberté les produits de l'électrolyse ; l'autre ***métallique***, à laquelle on attribuait le transport des

faibles quantités d'électricité qui traversent un électrolyte quand la force électromotrice employée est insuffisante pour opérer sa décomposition. Ces deux sortes de conductibilité, superposées dans le cas où l'on s'est placé jusqu'ici pour mesurer la résistance des liquides, devaient se trouver séparées dans mes expériences. Il y avait donc un véritable intérêt à mesurer la conductibilité de l'eau acidulée en employant une force électromotrice très faible, par exemple celle d'un élément zinc-cadmium.

La méthode électrométrique de M. Lippmann permet d'opérer cette mesure, sans la moindre difficulté. Deux auges contenant de l'eau acidulée renferment l'une l'électrode positive, l'autre l'électrode négative; elles communiquent par un long siphon capillaire, également plein d'eau acidulée, et l'on mesure la différence de potentiel aux deux extrémités du siphon à l'aide de deux fils métalliques parasites; on en déduit la résistance du *fil liquide* contenue dans le siphon. Le tableau suivant donne les résultats de quelques mesures :

Force électromotrice de la pile.	Résistance extérieure.	Résistance du siphon.	Intensité du courant.
volt	ohms	ohms	amp
0,365	200000	14710	0,00001282
1, 09	»	14900	4478
2, 18	»	14860	8388
3, 27	»	14850	0,00001233
4, 36	»	14960	1726
5, 45	»	15060	2201
5, 88	»	15160	2446
7, 64	»	15080	3265
9, 60	»	15060	4159
11, 76	»	15150	5015
»	140000	15020	6773
»	100000	15960	9097
»	50000	15010	0,0001587
»	20000	15000	2255

Dans cette expérience, la force électromotrice a varié dans le rapport de 1 à 32 et l'intensité du courant de 1 à 176, et la résistance du fil liquide est demeurée invariable à moins de $\frac{1}{50}$ près pour les plus faibles intensités de courant, à moins de $\frac{1}{150}$ pour les plus fortes. C'est précisément la limite de l'exactitude que comporte dans ces conditions l'emploi de l'électromètre. Dans d'autres expériences, faites avec des fils liquides moins résistants, on a pu varier l'intensité de 1 à plus de 900, produire à volonté ou suspendre le dégagement de gaz aux électrodes; la résistance d'un même fil liquide est toujours demeurée invariable.

Un liquide n'a donc qu'une manière unique de conduire l'électricité, quels que soient les phénomènes particuliers dont les électrodes sont le siège.

II (*)

Dans la note précédente, j'ai indiqué comment on peut mesurer séparément la polarisation des électrodes et la conductibilité des liquides. Je vais exposer les principaux résultats de l'application de cette méthode au cas des mélanges.

Le liquide sur lequel on veut opérer est contenu dans une cuve rectangulaire aux deux extrémités de laquelle se trouvent des électrodes A et B, de même largeur que la cuve et vernies sur leur face postérieure. Deux fils parasites m et n, recouverts d'une enveloppe isolante, sauf à leur extrémité, plongent dans le liquide. Chaque détermination comprend : 1° la mesure de la différence de potentiel aux deux extrémités d'une résistance métallique

(*) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 8 mai 1882.

connue, comprise dans le circuit, d'où l'on déduit l'intensité du courant; 2° la mesure de la différence de potentiel entre les fils parasites, d'où l'on déduit la conductibilité du liquide ; 3° la mesure de la différence de potentiel entre l'un des fils parasites et l'électrode la plus rapprochée, d'où l'on déduit la polarisation de cette électrode. J'ai étudié principalement le cas où l'un des éléments du mélange est un sel de cuivre et où l'électrolyse s'accomplit entre des électrodes de cuivre.

Des expériences antérieures m'avaient appris que, quand le sulfate ou le nitrate de cuivre sont mêlés, soit à l'eau acidulée, soit à un sel d'un métal plus oxydable, l'électrolyse produite par les courants de très faible intensité donne toujours un dépôt brillant et très adhérent de cuivre; mais pour une densité (*) du courant d'autant plus faible que la liqueur est plus étendue et la matière étrangère en plus forte proportion, au dépôt métallique succède brusquement un dépôt sans adhérence, rouge ou noir. En même temps, on peut constater, à l'aide d'un thermomètre électrode, un dégagement de chaleur parasite dont l'électrode négative est le siège et qui persiste avec les courants plus forts.

L'étude de la conductibilité et des polarisations établit :

1° Que la conductibilité du liquide demeure constante (**) malgré la variété des réactions électrolytiques dont les électrodes peuvent devenir le siège;

2° Que cette conductibilité est toujours très supérieure à celle que posséderait individuellement la dissolution de l'un quelconque des éléments du mélange au degré de

(*) J'appelle *densité* l'intensité du courant rapportée à l'unité de surface de l'électrode.

(**) En réalité, elle croît un peu, par suite d'un échauffement inévitable avec les courants très intenses.

dilution où il existe dans la liqueur; que, par suite, les molécules de chacun des sels mêlés prennent part au transport de l'électricité, alors même qu'un seul des métaux se dépose à i'électrode négative;

3° Que la polarisation de l'électrode positive est en général négligeable;

4° Que la polarisation de l'électrode négative, très faible pour les courants de médiocre densité, croît rapidement en deçà et au delà de la densité particulière qui fait apparaître le dépôt brun, et tend, pour chaque mélange, vers une limite déterminée. On aura une évaluation par excès de cette limite, en admettant que pour une densité du courant suffisante, le sel, dont la décomposition exige le plus de chaleur (entre les électrodes employées), est seul électrolysé. Ainsi, dans un mélange de sulfate de cuivre et de zinc placé entre des électrodes de cuivre, la décomposition du sulfate de zinc seul produirait une force électromotrice de polarisation de 1 daniell; dans un mélange de sulfate de cuivre et de sulfate de soude entre les mêmes électrodes, la décomposition du sulfate de soude seul (*) en produirait une d'environ 4/3 de daniell. Ces nombres coïncident respectivement avec le maximum de la polarisation observée dans les mélanges les plus pauvres en sulfate de cuivre.

Le mécanisme du dégagement de chaleur parasite accompagnant la polarisation est facile à interpréter. Soit, par exemple, un mélange de sulfate de cuivre et de sulfate de zinc. Dès que le zinc commence à se déposer, il forme, avec le cuivre, une série de couples locaux dans lesquels le zinc est l'élément attaquable. Ce métal se redissout en précipitant une quantité de cuivre équivalente, et la cha-

(*) En acide sulfurique et soude, avec dégagement d'hydrogène au pôle négatif et formation de sulfate de cuivre au pôle positif.

leur correspondante se dégage tout entière dans le circuit des couples locaux, c'est-à-dire à la surface même de l'électrode. Ces courants locaux, entre des points inégalement polarisés de l'électrode, paraissent jouer un rôle considérable dans la limitation de la polarisation, pour chaque valeur particulière de la densité du courant. La diffusion des produits de l'électrolyse quand ils sont gazeux, et celle qui s'exécute entre les couches inégalement concentrées de l'électrolyte, jouent peut-être un rôle plus important. C'est un point sur lequel je compte revenir prochainement.

Je termine par une observation importante. Mes expériences, d'accord avec toutes les observations antérieures sur l'électrolyse des mélanges, établissent que *la réaction électrolytique qui apparaît aux électrodes pour de faibles densités du courant absorbe toujours moins de chaleur que celles qui lui succèdent pour des densités plus fortes.* Cette extension au cas des mélanges de la belle loi énoncée par M. Berthelot pour le cas des électrolytes simples trouvera sa confirmation dans le tableau suivant. D'après Wiedemann (*), si l'on forme une solution mixte de deux métaux quelconques appartenant à la liste suivante : zinc, cadmium, plomb, cuivre, argent, or, le métal qui suit dans la liste se dépose à l'exclusion de celui qui précède. Mes expériences établissent d'ailleurs que l'électrolyse du sel du premier métal apparaîtra à son tour pour une densité de courant suffisante. Voici le tableau des quantités de chaleur correspondant à la formation des principaux sels de ces métaux à partir de l'oxygène, de l'acide sulfurique ou nitrique et du métal (**), ou à partir du chlore et du métal :

(*) *Galvanismus*, t. Ier, p. 563.

(**) D'après les chaleurs d'oxydation, de chloruration et de combinai-

Métaux	Nitrates.	Sulfates.	Chlorures.
Zinc	51,6	53,5	56,4
Cadmium	42,3	45,1	48,1
Plomb	34,4	»	»
Cuivre	26,5	28,3	31,3
Argent	8,7	10,7	»
Or	»	»	27,3

L'ordre dans lequel sont rangés les métaux est précisément celui des chaleurs de formation ainsi calculées.

son des acides nitrique et sulfurique avec les bases, données par M. Berthelot dans l'*Annuaire du Bureau des longitudes*, p. 596, 600 et 618; 1882.

ÉTUDE SUR LA TÉLÉPHONIE.

Dès que Bell eut réalisé le premier téléphone transmettant et reproduisant électriquement à distance la parole articulée, l'opinion des hommes spéciaux se trouva partagée sur les applications dont était susceptible ce merveilleux appareil et sur les résultats qu'on en pouvait attendre.

Tandis que les enthousiastes entrevoyaient déjà dans un avenir très rapproché la possibilité de tenir conversation de l'Amérique au vieux continent, d'autres, plus sceptiques, ne se rendirent à l'évidence qu'après des expériences concluantes faites par eux-mêmes, et tout en considérant le téléphone comme une merveille, ils ne virent en lui qu'un instrument précieux pour les recherches scientifiques ou un jouet n'ayant, au point de vue industriel, d'autre utilité que celle d'un objet d'agrément.

Dans ce nouveau et vaste champ ouvert à l'imagination des chercheurs, chacun apportant sa part de travail, le temps seul peut permettre de déterminer la limite du possible.

Mais il y a lieu d'admirer déjà les progrès accomplis en quelques années seulement. Certes on est loin de relier téléphoniquement les deux mondes et, pour les esprits sérieux, la solution de ce problème paraît actuellement encore une chimère, si l'on considère les difficultés que l'on trouve dans une simple communication télégraphique sous-marine à longue distance. Cependant les succès relatifs obtenus dans diverses expériences font envisager

dès à présent, comme pratiquement réalisable, la transmission de la parole sur des lignes de plusieurs centaines de kilomètres.

Bien que jusqu'ici le téléphone n'ait été réellement utilisé que sur des lignes de peu d'étendue, les résultats obtenus ont dépassé toutes les espérances.

De toutes parts se sont fondées des sociétés industrielles dans le but d'établir des réseaux téléphoniques dans l'intérieur des grandes villes où, moyennant un abonnement, chacun peut, de son domicile, être mis en relation directe à tout instant du jour et de la nuit avec les autres abonnés du même réseau.

Ce mode de communication a obtenu du public une faveur marquée, qui est due à la grande facilité avec laquelle s'effectuent les correspondances.

Rien qu'à Paris le nombre des abonnés à la Société des téléphones a atteint en moins de trois ans le chiffre de 2,500.

Indépendamment de ces abonnements, un grand nombre d'industriels ont fait relier par des lignes téléphoniques spéciales leurs divers établissements à leurs bureaux et à leurs domiciles.

Tous ces réseaux, toutes ces lignes fonctionnent admirablement et à l'entière satisfaction de tous ceux qui s'en servent.

Il y a donc un puissant intérêt pour toutes les personnes qui s'occupent d'électricité, à connaître les divers systèmes téléphoniques qui ont été exploités avec succès, de même que ceux qui, sans être entrés dans le domaine de la pratique, peuvent offrir quelque originalité sous le rapport théorique.

La description de ces appareils, des divers modes d'installation de postes et de lignes téléphoniques, le

compte rendu de recherches ou d'expériences intéressantes ayant trait à la téléphonie, telles sont les principales questions qui feront l'objet de cette étude, dans laquelle nous ne reviendrons pas sur l'histoire bien connue des découvertes de Bell, Edison, Gray, Hughes, etc., nous proposant seulement d'indiquer l'état actuel de la question et les progrès successifs qu'elle fera.

Les sociétés françaises qui, après avoir obtenu une concession de l'État pour l'exploitation des téléphones, se sont fusionnées plus tard sous la raison sociale de *Société générale des Téléphones*, ont utilisé les systèmes suivants :

Les téléphones magnéto-électriques de Bell et de Gower; les téléphones à pile d'Edison, Black, Crossley, Gower-Bell et Ader.

Le téléphone Bell, décrit dans les *Annales Télégraphiques* de 1878, est suffisamment connu; il serait superflu d'en donner ici une description même succincte. Rappelons seulement que cet appareil magnéto-électrique est réversible et peut être indifféremment utilisé comme transmetteur et comme récepteur.

Il en est de même du téléphone Gower qui est basé exactememt sur le même principe que le précédent et qui n'en diffère guère que par les dimensions, l'emploi des deux pôles de l'aimant pour agir sur le diaphragme, et par une anche, fixée sur ce dernier organe, qui est destinée à transmettre les signaux d'appel. Cet appareil offre d'ailleurs un médiocre intérêt puisqu'on paraît avoir renoncé à son usage.

Le peu d'énergie des courants développés par les téléphones magnéto-électriques employés comme transmetteurs ne permettait d'utiliser ces appareils que sur des

lignes très courtes et en aurait restreint l'application à des communications purement locales; de là s'imposait, au point de vue de la vitalité de l'une des plus grandes découvertes de notre siècle, la nécessité de produire, sous l'influence de la voix, des courants électriques assez puissants pour communiquer à des distances plus considérables.

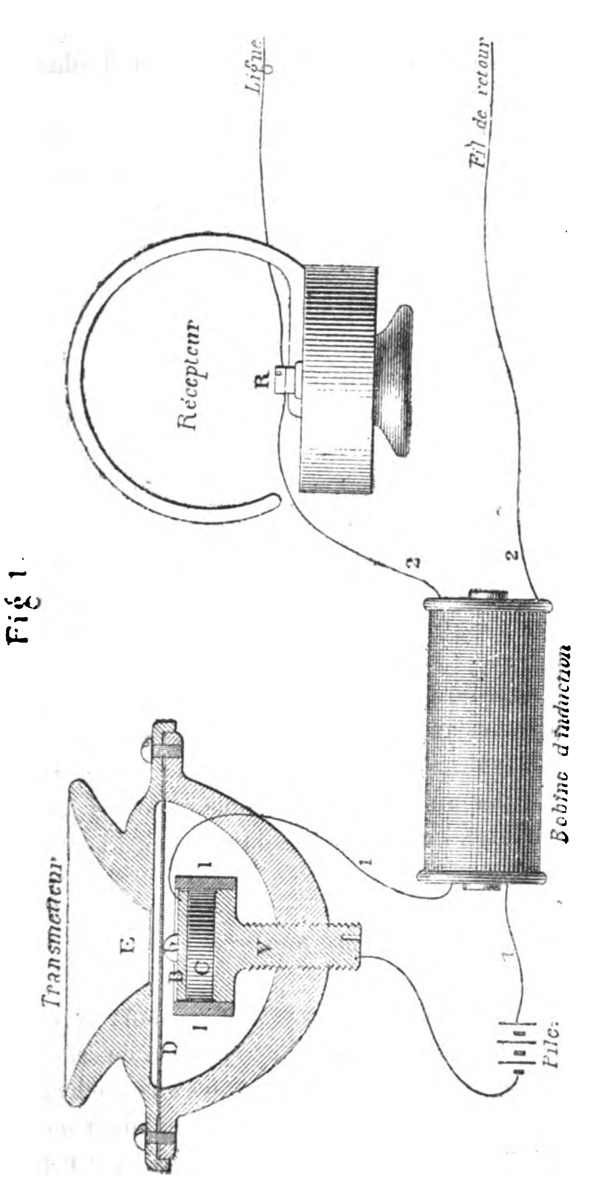
Ce problème a été résolu, au moins dans une certaine mesure, par la découverte d'Edison des transmetteurs téléphoniques à pile.

Système Edison.

La *fig.* 1 représente une coupe du transmetteur Edison. Une pastille C de noir de fumée de pétrole est placée dans une cuvette dont le fond métallique est terminé par une vis V; les côtés de cette cuvettte sont formés par une bague en ébonite II. La pastille C est recouverte par un disque métallique B surmonté d'un bouton en os *b*. D est le diaphragme formé d'une plaque de tôle, d'acier ou de fer devant laquelle on parle à travers le trou pratiqué au fond de l'embouchure E. Le disque B, la pastille C et la vis V ferment le circuit de la pile P passant par le fil primaire d'une bobine d'induction,

La vis V sert à effectuer le réglage de l'appareil qui consiste à presser le bouton *b* contre le diaphragme, juste assez pour que le contact existe toujours entre eux, quelle que soit l'amplitude que tendent à prendre les vibrations du diaphragme.

L'appareil étant convenablement réglé, si l'on parle devant l'embouchure E, le diaphragme vibre sous l'influence de la voix et ses vibrations produisent, par l'intermédiaire du bouton *b* et du disque B, des pressions et


Fig 1.
Transmetteur
E
B
C
D
I
V
1
Bobine d'induction
Pile
Récepteur
R
Ligne
Fil de retour
2
A. BROISE & COURTIER.

des dépressions sur la pastille C qui varie ainsi de conductibilité en raison du nombre et des amplitudes des vibrations du diaphragme.

A ces variations de conductibilité correspondent des variations de résistance et par conséquent d'intensité du courant de la pile qui passe dans le fil primaire de la bobine d'induction et qui donnent naissance à des courants induits dans le fil secondaire de la bobine, lesquels agissent absolument comme les courants d'induction produits par un téléphone magnéto-électrique, mais avec une énergie beaucoup plus grande.

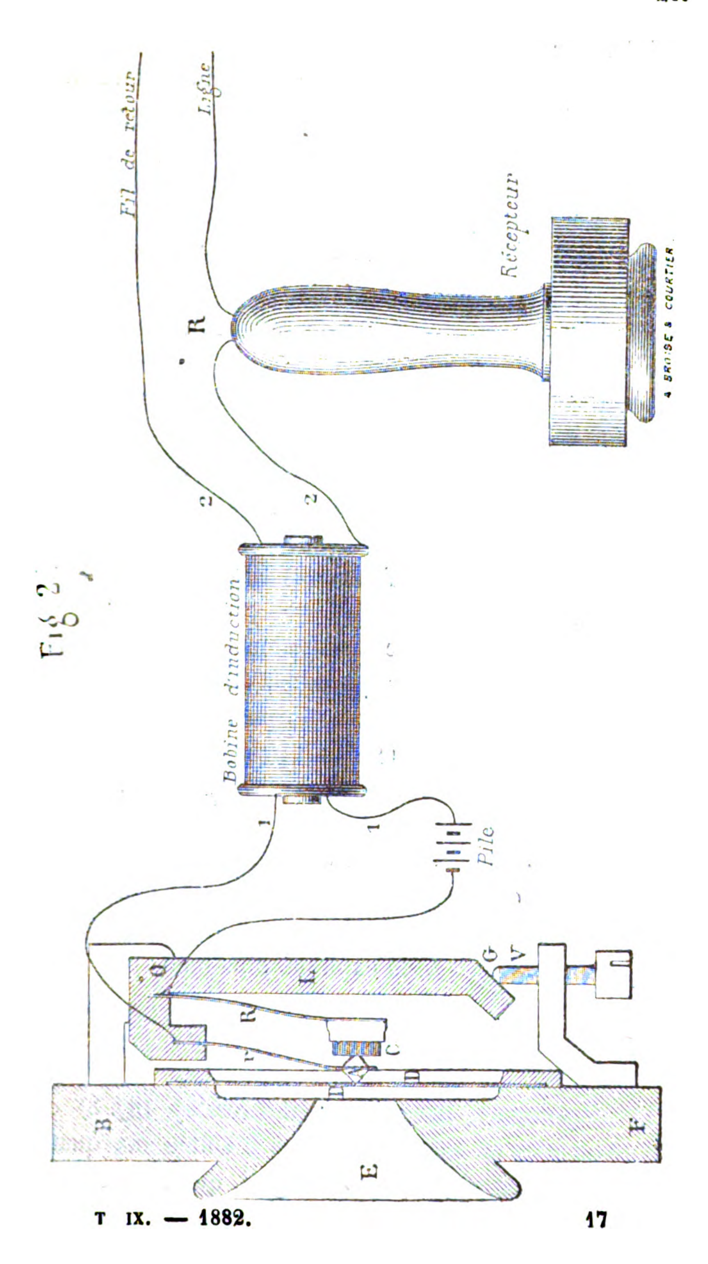
C'est le fil secondaire de la bobine qui est en communication avec le circuit de la ligne dans lequel on place en R un ou plusieurs récepteurs qui sont des téléphones ordinaires.

Le principe du système Edison consiste donc à produire des variations de conductibilité ou de résistance dans un circuit par la compression d'une poudre de charbon.

Les systèmes décrits plus loin sont basés sur un principe un peu différent, appliqué en premier lieu dans le microphone de Hughes, et qui consiste à varier la résistance d'un circuit par un contact rendu plus ou moins parfait entre deux blocs de charbon ou de corps médiocrement conducteurs.

Système Black.

Derrière une planche verticale (*fig.* 2) dans laquelle est pratiquée une embouchure E, et en face de celle-ci, est fixé un diaphragme métallique (en fer ou en acier) au centre duquel appuie un bouton A en aluminium ou en platine fixé à l'extrémité d'un ressort métallique *r* très


Fig 2
Fil de retour
Ligne
Récepteur
R
2
2
Bobine d'induction
1
1
Pile
O
L
R
C
D
G
V
B
E
F
A BROISE & COURTIER

flexible. Sur le bouton A repose un bloc de charbon C fixé dans une petite cuvette à l'extémité du ressort lame R, plus raide que le ressort *r*.

Le contact du bloc de charbon C sur le bouton A ferme le circuit d'une pile locale à travers le fil primaire d'une bobine d'induction. Le réglage de ce contact s'obtient au moyen du levier L articulé en O et de la vis V qui, agissant sur le plan incliné G du levier L, le pousse du côté du diaphragme, ce qui raidit le ressort R et serre le contact.

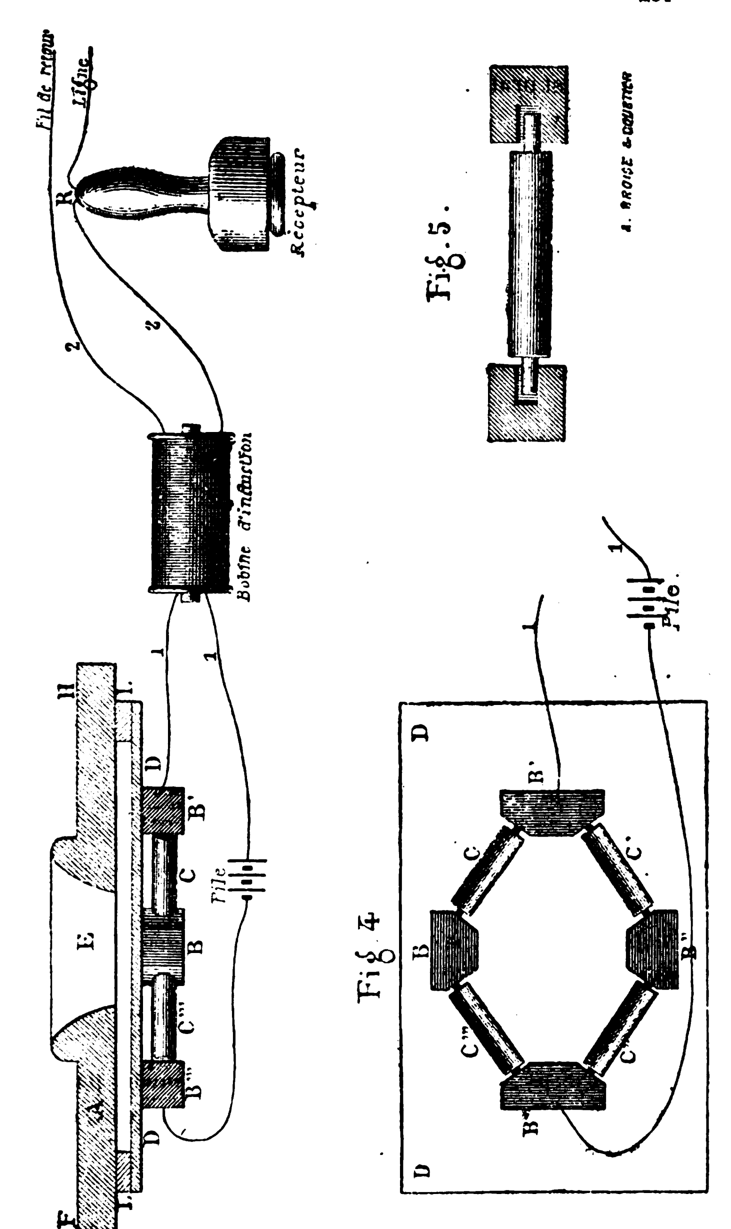
Lorsque, dans ses mouvements de vibration, le diaphragme fait un mouvement de dehors en dedans, il comprime davantage le bouton A contre le bloc de charbon C ; le contact devient meilleur et produit une diminution de résistance dans le circuit primaire de la bobine d'induction dans lequel l'intensité du courant de la pile augmente.

Au contraire, quand le diaphragme fait un mouvement de dedans en dehors, le contact du bouton A contre le bloc de charbon C se desserre et produit une augmentation de résistance dans le circuit primaire et, par suite, une diminution d'intensité du courant de la pile.

Ces augmentations et diminutions d'intensité du courant dans le circuit primaire de la bobine développent par induction des courants de sens contraire dans le circuit secondaire de cette bobine et qui agissent sur les récepteurs comme il a été expliqué plus haut.

Système Crossley.

Le diaphragme, dans l'appareil Crossley (*fig.* 3) est une planchette en sapin très mince D collée aux quatre coins sur de petites plaques de liège L qui elles-mêmes


Fig. 3
Fil de retour
Ligne
R
Récepteur
2
2
Bobine d'induction
1
1
Pile
A
B
B'
B''
C
C'''
D
D
E
F
H
L
L
Fig. 4
B
B'
B''
B'''
C
C'
C''
C'''
D
D
1
1
Pile
Fig. 5.
A. BROISE & COURTIER

sont collées sous une planchette de bois FH au centre de laquelle est pratiquée une ouverture E en forme d'embouchure, devant laquelle on parle.

En dessous du diaphragme (*fig.* 4) sont collés quatre blocs de charbons B, B′, B″, B‴, entre lesquels sont disposés, en forme de losange, les cylindres de charbon C, C′, C″, C‴.

La *fig.* 5 représente la disposition de chaque cylindre entre deux blocs. On voit que chaque extrémité du cylindre de charbon C, d'un diamètre plus petit que celui de la partie centrale, repose sur la paroi inférieure d'un trou pratiqué dans les blocs de charbon B et B′.

Ce sont les variations de contact des cylindres sur les blocs qui produisent les variations d'intensité du courant dans le circuit primaire de la bobine d'induction comme nous l'avons vu précédemment.

Voici comment s'opèrent ces variations :

Lorsque le diaphragme en vibrant, fait un mouvement de haut en bas, les blocs B, B′, B″, B‴ suivent ce mouvement, tandis que les cylindres C, C′, C″, C‴, en vertu de l'inertie, tendent à rester en place, ce qui établit de mauvais contacts entre ces cylindres et les blocs. Puis, quand le diaphragme revient de bas en haut, les blocs qui suivent le diaphragme se serrent davantage contre les cylindres qui tendent encore à descendre ; de là, un meilleur contact entre les cylindres et les blocs de charbon.

Le courant circule dans les charbons du transmetteur de la manière suivante :

Il entre par le bloc B‴, passe simultanément par les cylindres C‴ et C″, les blocs B et B″, les cylindres C et C′, puis il sort par le bloc B′.

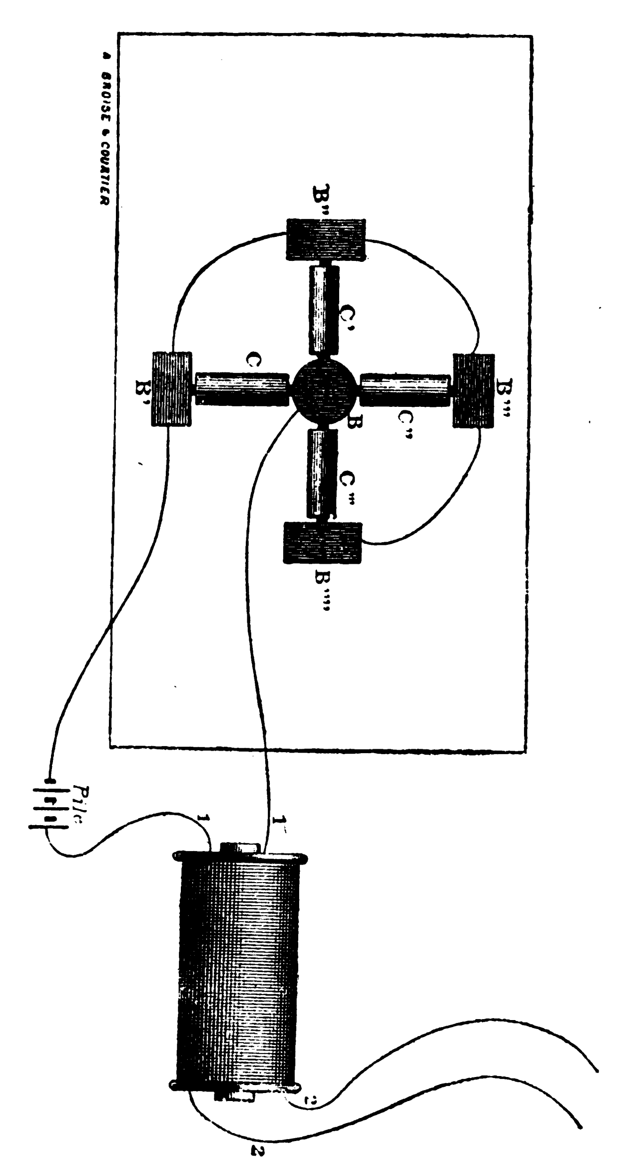
Système Gower-Bell.

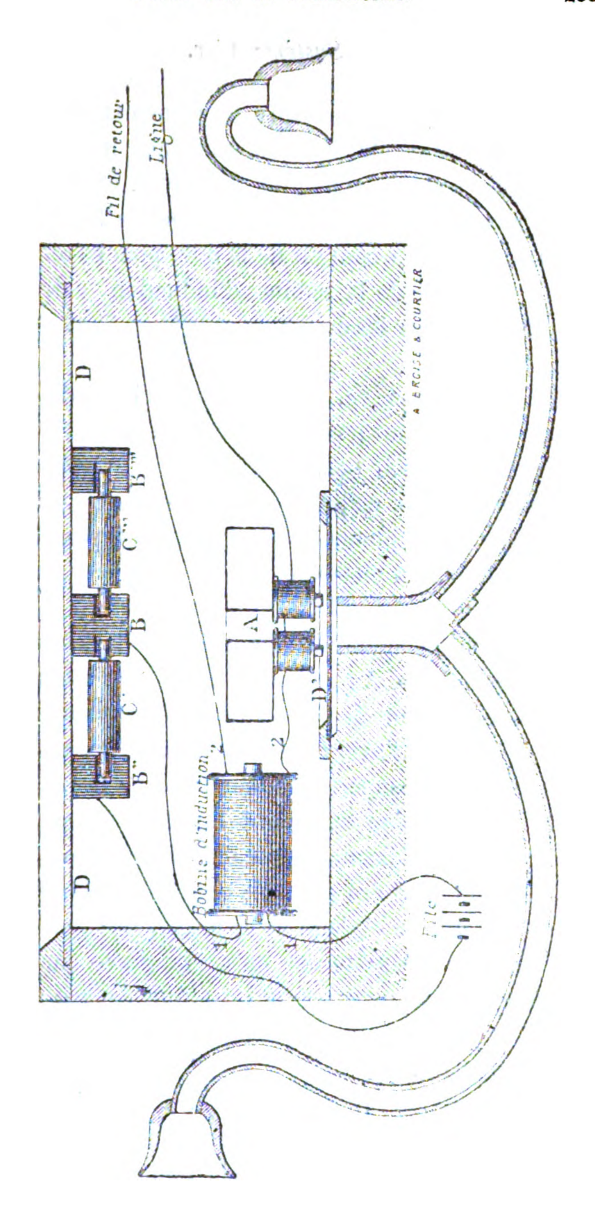
Nous retrouvons (*fig.* 6 et 7) les mêmes cylindres de charbon que dans le système Crossley, supportés de la même manière entre des blocs de charbon fixés en dessous du diaphragme D qui est également une planchette de sapin. La seule différence qu'il soit permis de constater, c'est que les cylindres portent tous par l'une de leurs extrémités sur le même bloc fixé au centre du diaphragme et, par leur autre extrémité, sur un bloc spécial.

Le courant de la pile, pour se rendre dans le circuit primaire de la bobine d'induction, entre à la fois par tous les blocs excentriques, passe en même temps par tous les cylindres et sort par le bloc central.

Comme on le voit (*fig.* 7), le diaphragme D est complètement à découvert, ce qui permet de parler à une certaine distance de l'appareil.

L'auteur a introduit, dans la boîte même du transmetteur, le téléphone récepteur dont on voit l'aimant muni de ses bobines en A et le diaphragme en D'. Au centre est fixé, dans le fond de la boîte, un tube à deux branches dans lesquelles sont placés deux tuyaux acoustiques terminés par un pavillon que l'on porte à l'oreille pour la réception.


B
B'
B''
B'''
B''''
C
C'
C''
C'''
Pile
1
1
2
2
Fig. 6.
BROISE & COURTIER


Fig. 7
Fil de retour
Ligne
D
D
B'''
C'''
B
C'
B''
A
D'
Bobine d'induction
Pile
A ERCISE & COURTIER

Système Ader.

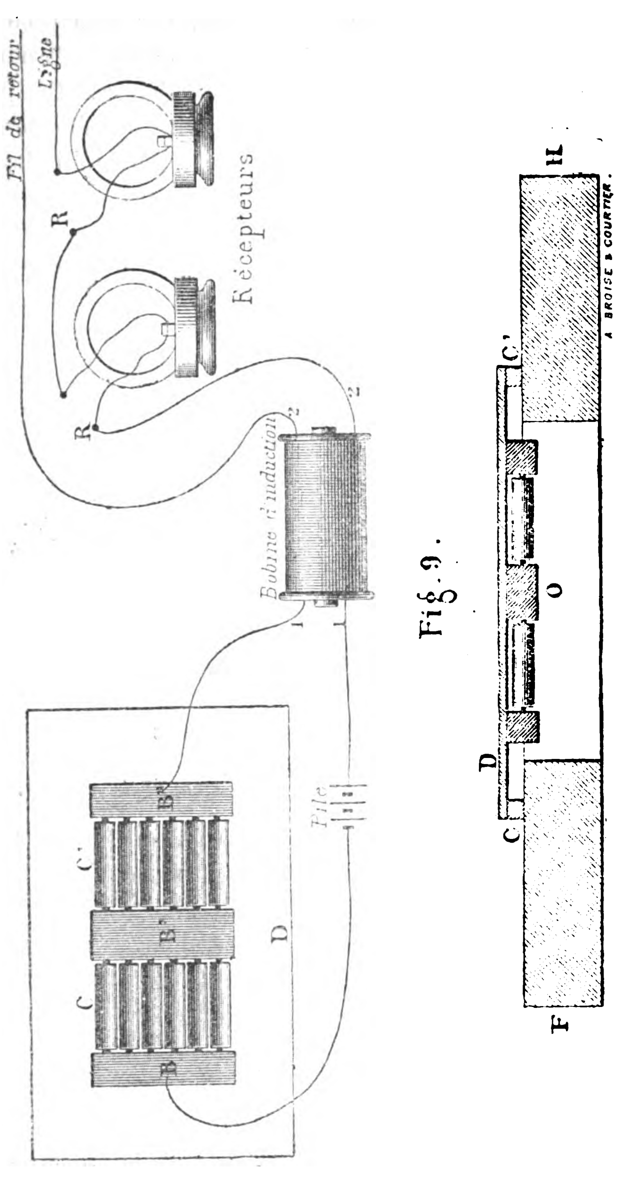
On retrouve encore dans le transmetteur Ader les mêmes cylindres de charbon que dans le transmetteur Crossley, mais ils sont plus nombreux et rangés entre trois blocs de charbon B, B′, B″ comme l'indiquent les (*figures* 8 et 9). Le courant de la pile, pour se rendre dans le fil primaire de la bobine d'induction, entre par le bloc B, passe par les cylindres rangés en C′ et sort par le bloc B″.

Le diaphragme (*fig.* 9) est une planchette de sapin qui se trouve à découvert comme celle du Gower-Bell, ce qui permet de pouvoir parler à distance de l'appareil. Elle est collée sur un cadre en caoutchouc C C′ qui est collé lui-même sur la planche F H, évidée en O pour laisser un espace libre aux charbons.

Tels sont les appareils employés par la Société des Téléphones à Paris. Au point de vue de leur valeur on peut dire que tous ont donné de bons résultats dans la pratique; mais, de l'avis général, les transmetteurs Edison et Ader ont une supériorité marquée sur les autres

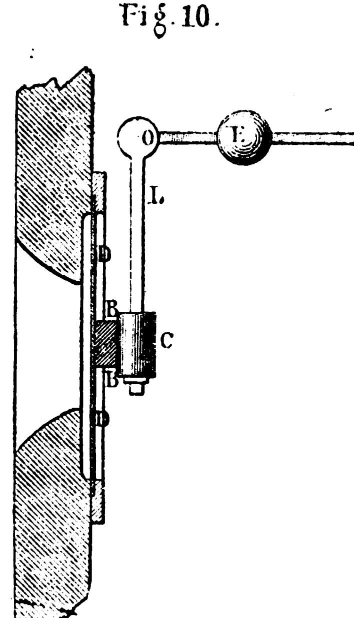
Si l'on compare entre eux ces deux derniers on remarque que l'Edison, dans certaines conditions de réglage, peut produire des sons plus puissants que l'Ader; mais cet état de réglage ne se maintient pas longtemps. Ce système présente en outre le grave inconvénient d'exiger que la personne qui transmet place sa bouche sur l'embouchure du transmetteur pour parler à son correspondant.

L'appareil Ader permet, au contraire, à l'opérateur de se placer à une certaine distance du diaphragme et de prendre une position commode pour tenir une longue


Fig. 8.
Fil de retour
Ligne
R
R
Récepteurs
Bobine d'induction
Pile
C
C'
B
B'
B''
D
Fig. 9.
C
D
C'
O
H
F
A BROISE & COURTIER.

conversation avec son correspondant. Les sons produits par cet appareil sont aussi puissants que ceux produits par l'Edison dans les conditions ordinaires. On peut donc dire que l'Ader a une supériorité sur l'Edison au point de vue de la pratique, d'autant plus qu'il n'exige aucun réglage. Cette conclusion, d'ailleurs, est confirmée par ce fait que la Société ne construit plus que des appareils Ader qu'elle destine, non seulement aux installations nouvelles, mais encore à remplacer les appareils des autres systèmes qui sont encore en service.

En raison des qualités que possède l'appareil Ader, il a été choisi comme type de comparaison dans les expériences faites à l'administration des télégraphes dans le but d'essayer les divers transmetteurs téléphoniques, qui lui ont été ou pourraient lui être présentés.



Parmi ces appareils, nous mentionnerons les suivants :

Appareil Maiche.

Au centre d'un petit diaphragme D en liège très mince d'environ 4 à 5 centimètres de diamètre est fixé un bloc de charbon B (*fig.* 10), sur lequel repose un petit cylindre de charbon C fixé à l'extrémité inférieure d'un levier coudé L, articulé

en O, et dont l'autre extrémité est une vis munie d'un écrou E en forme de boule, qui sert à régler le contact des charbons en l'éloignant ou en la rapprochant de l'extrémité de la vis.

M. Maiche dispose, sur une même planche de bois, 3, 4 ou 5 disques semblables armés de la même manière et recouvre le devant de la planche d'une pièce de drap ou de serge.

Comme dans les systèmes précédents, les contacts de charbon sont destinés à varier la résistance d'un circuit de pile à travers le fil primaire d'une bobine d'induction sous l'influence des vibrations des diaphragmes.

Appareil de Baillehache.

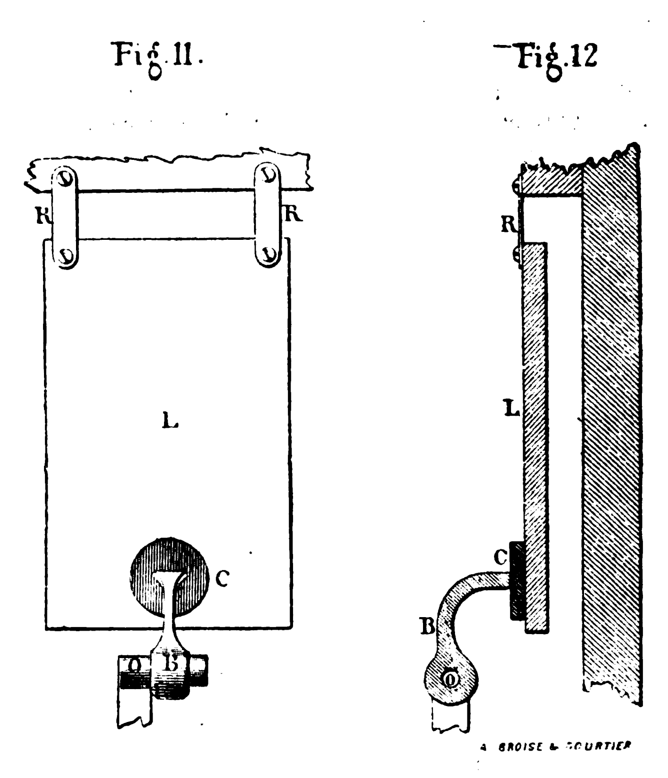
C'est un Ader à deux cylindres de charbon; mais ces cylindres sont creux et on y introduit des balles de charbon ou mieux encore, paraît-il, des barbes de plume, qui, suivant l'auteur, produiraient une surexcitation des vibrations et par conséquent une plus grande puissance de transmission.

Système Locht-Laby.

Le transmetteur de M. Locht-Laby présente une disposition originale :

Dans tous les transmetteurs décrits plus haut, l'organe principal ou diaphragme, formé d'une plaque mince de métal ou d'une mince planchette de sapin, est maintenu fixement tout autour de ses bords. Dans le système de Locht-Laby (*fig.* 11, *face*, *et fig.* 12, *coupe*) la planchettte L qui est en liège est simplement maintenue à sa partie supérieure par deux ressorts-lames R, R, très flexibles.

Sur la partie inférieure de la planchette L, est fixé un disque en charbon C contre lequel appuie un butoir métallique B, en forme de doigt.



Le contact du disque de charbon contre le butoir ferme le circuit de la pile passant par le fil primaire d'une bobine d'induction dont le fil secondaire est relié au circuit de la ligne comme dans les autres systèmes.

Lorsqu'on parle devant la planchette L, celle-ci vibre et ses vibrations produisent des variations de résistance au point de contact du disque de charbon C contre le butoir B.

Ces variations de résistances se traduisent par des variations d'intensité du courant de la pile dans le fil primaire de la bobine d'induction, qui donnent naissance à des courants induits de sens contraire dans le fil secondaire en communication avec la ligne, ainsi que nous l'avons déjà expliqué.

Le butoir B est articulé en O afin de permettre le réglage de l'appareil qui consiste à serrer le butoir sur le disque du charbon, juste assez pour qu'il n'y ait pas rupture du contact pendant les vibrations communiquées à la planchette L sous l'influence de la voix.

Le transmetteur et la bobine d'induction sont placés au fond d'une boîte dont le devant est fermé par une pièce d'étoffe de laine qui amortit légèrement les vibrations de l'air et empêche, ainsi dans une certaine mesure, les ruptures de contact.

Les systèmes Maiche, de Baillehache et de Locht-Laby, donnent, dans la transmission de la parole, des résultats satisfaisants.

(*A suivre.*) SIEUR.

NOTE

SUR

LA RÉINSTALLATION DU POSTE CENTRAL

A PARIS.

Le poste télégraphique central de Paris vient d'être entièrement réinstallé.

On ne peut mieux donner une idée du développement de la télégraphie qu'en faisant l'historique sommaire des déplacements qu'il a nécessités dans une période de trente années.

En 1852, le bureau de la rue de Grenelle, alors seule station télégraphique de Paris, occupait une surface de 20 mètres carrés à peine, et comprenait 4 ou 5 appareils du modèle dit « français ».

Quatre ou cinq ans après, on agrandissait cet emplacement de manière à lui donner une superficie de 200 mètres carrés environ, qui paraissait répondre d'une manière suffisante aux besoins présents et à venir; 60 ou 70 appareils Morse ou à cadran, les seuls alors en usage, y furent mis en service.

Ces prévisions furent bientôt dépassées et, en 1861, on se trouva dans l'obligation de transférer le poste Central dans les bâtiments en façade sur la rue de Grenelle.

Cinq salles contiguës mesurant ensemble 250 mètres carrés environ furent tout d'abord affectées aux appareils; d'autres vinrent s'y ajouter progressivement et suivant

les besoins qui ne cessaient de s'accroître, de telle sorte qu'en 1877 le nombre des salles que l'on avait dû mettre à la disposition du service s'élevaient à vingt.

A cette date, toute extension nouvelle dans les bâtiments existants fut reconnue à peu près impraticable, et l'on fut contraint d'y ajouter un pavillon annexe dans lequel une salle d'une superficie de 260 mètres carrés fut réservée au poste Central, et où furent montés exclusivement les appareils des systèmes Hughes et Baudot.

Voici quelle était la situation en 1880, c'est-à-dire trois ans plus tard :

Superficie des locaux affectés aux appareils et divisés en 22 salles	1,104 m. carrés.
Nombre d'appareils montés :	
Morse	105
Hughes	93
Baudot	2
Wheatstone	7
Meyer quadruple	1 (*)

Tous les appareils, sauf ceux de rechange, en nombre tout à fait insuffisant, étaient en service; il ne restait aucune place disponible pour en monter de nouveaux. Enfin l'installation des appareils dans une multitude de salles placées à la suite les unes des autres, ou à des étages différents, présentait de sérieux inconvénients au double point de vue de la surveillance et de l'exploitation.

Pour ces motifs d'ordre divers, M. le Ministre des Postes et des Télégraphes décida la création d'un bâtiment neuf, faisant suite au pavillon élevé en 1877.

Les travaux dirigés par M. Rigault, architecte du Ministère des Beaux-Arts, furent commencés en mai 1880

(*) Dans tout cet exposé, il n'est pas tenu compte du service officiel, qui occupe un emplacement à part et emploie vingt appareils Morse.

et terminés en septembre 1881; la dépense s'élève à 500.000 francs en chiffres ronds.

La construction qui vient d'être édifiée comprend un sous-sol, un rez-de-chaussée, un entresol et deux étages. Le poste Central en occupe le sous-sol, l'entresol et le premier étage.

1° *Sous-sol.* — Les piles y sont toutes installées; la surface qui leur est réservée mesure 400 mètres carrés. 8.000 éléments Callaud y sont montés. Tous les fils qui puisent à cette vaste source électrique aboutissent à deux rosaces-commutateurs, armées chacune de 240 bornes à contre écrou, et reliées l'une à la salle de l'entresol, l'autre à celle du premier étage.

Le nombre des fils de pile susceptibles d'être utilisés pour le poste central est de 480, et leur développement total de 19.280 mètres de câbles à un conducteur, et de 2.270 mètres de câbles sous guipure à sept fils.

A la suite des piles seront installées, sur un emplacement spécial d'une surface de 200 mètres carrés, trois machines à vapeur, dont deux de 30 chevaux chacune, et la troisième de la force de 60 chevaux, ne devant fonctionner qu'en cas de réparation de l'une ou des deux autres.

L'une des machines de 30 chevaux actionnera suivant les besoins une ou plusieurs pompes qui projetteront dans des conduites, en fonte et cuivre, l'eau nécessaire pour faire fonctionner de 150 à 200 turbines Humblot. Ces turbines absorberont une force que l'on peut évaluer de 9 à 15 chevaux.

(*) Chaque turbine Humblot, pour hughes, ne devrait consommer que 3 litres d'eau à la minute, mais, dans la pratique, la dépense est plus élevée. L'eau sera fournie par des compresseurs susceptibles de débiter chacun 645 litres par minute ; elle sera forcée à la pression de 5 atmosphères. En admettant que le rendement pratique de chaque compres-

La seconde machine de même force est réservée à la production de la lumière électrique, dont les essais se poursuivent simultanément dans les deux salles d'appareils; nous avons lieu de croire que cet éclairage pourra être réalisé d'une manière satisfaisante avec 32 ou 35 foyers, d'une puissance de 40 carcels, comportant l'emploi de 25 chevaux-vapeur.

2° *Entresol.* — Cette salle d'une superficie de 540 mètres carrés est exclusivement affectée au service des femmes. 30 hughes et 196 morses y sont montés. Sur ce nombre, il n'y a déjà plus aujourd'hui que 20 morses disponibles. Sur les 206 appareils en service, 92 desservent les bureaux de Paris; les autres mettent le poste central en correspondance avec la banlieue et la province.

3° *Premier étage.* — La nouvelle salle construite à cet étage forme le prolongement de celle qui a été édifiée en 1877. Elle a ainsi une superficie de 800 mètres carrés; elle est réservée aux hommes.

Dans la partie neuve sont installés les hughes, un quadruple Meyer, un wheatstone, et tout le service d'expédition et de contrôle.

La partie ancienne est affectée aux tubes pneumatiques et aux appareils Baudot et Wheatstone.

Le nombre des appareils pneumatiques correspondant à autant de lignes est de 16 dont 4 de réserve; celui des hughes en service, de rechange ou de réserve, est de 96.

seur soit de 75 p. 100 du rendement théorique, il exigera $727^{kgm},5$. Si l'on évalue la dépense d'eau à 4 litres par turbine et par minute, chaque compresseur pourra actionner 161 turbines; une turbine absorbera donc $4^{kgm},5$; or, pour élever le poids Hughes (60^{k} à $0^{m},55$ en $2',5$), il faut dépenser $0^{k},220$. Le rendement de la turbine ne serait donc que de 0,49. Pour actionner un appareil quadruple Baudot, il faut une force correspondant à 6 turbines Hughes.

Deux quadruples Baudot sont seuls en fonction, bientôt il y en aura quatre, et la place est réservée à quatre autres.

Quatre Wheatstone desservent Marseille, Nice, Toulouse et Brest.

Le nombre total des appareils en service, de rechange, ou dont l'emplacement est marqué dans les deux salles du poste central, s'élève donc au chiffre de 336.

Le développement des conducteurs établis entre les tables d'appareils et les six rosaces-commutateurs est de 31.417 mètres dont 14.742 mètres pour les transmissions et le reste pour les piles.

Personnel et transmission.

L'effectif du personnel attaché au poste Central pour la manipulation, le contrôle et l'expédition des dépêches, non compris le service officiel, est de 860, dont 510 hommes et 350 femmes.

Le nombre quotidien des transmissions varie de 38 à 40.000; il s'est élevé fréquemment en 1881 à 45.000.

Mais le poste de la rue de Grenelle n'est plus comme il y a trente ans le seul bureau télégraphique de Paris.

Il en existe aujourd'hui soixante-dix-neuf autres livrés au public.

La plus importante de ces succursales est celle de la Bourse.

Elle occupe environ 300 employés des deux sexes, et emploie 32 appareils Hughes et 76 Morse.

En 1881, elle a taxé 1.266.400 télégrammes, encaissé 3.934.443 fr. 26, et distribué 1.416.813 dépêches.

E. Cael.



CHRONIQUE.

Société des Ingénieurs télégraphistes et des Électriciens.

Instructions pour prévenir les risques d'incendie provenant de l'éclairage électrique, recommandées par le Conseil, suivant le rapport du comité nommé par lui le 11 mai 1882 pour étudier la question.

Ces instructions n'ont pas été faites seulement à l'usage des personnes qui ont des appareils de lumière électrique dans leurs maisons, mais aussi en vue de réduire autant que possible les risques d'incendie qui sont inhérents à tout système d'éclairage artificiel.

Les principaux dangers de toute nouvelle application de l'électricité ont surtout pour cause l'ignorance ou l'inexpérience de ceux qui font des installations.

Les obstacles que l'ingénieur électricien a à surmonter sont surtout intérieurs et invisibles, et ils ne peuvent être efficacement évités qu'au moyen d'essais, et pour ainsi dire de sondages des courants électriques. Ce sont surtout des fuites, des résistances exceptionnelles dans les conducteurs et des jonctions défectueuses qui amènent une perte d'énergie et une production de chaleur.

Ces défauts ne peuvent être découverts qu'en mesurant au moyen d'appareils spéciaux les courants qui passent habituellement dans le circuit ou ceux que l'on y fait passer pour les essais.

Les fils nus ou placés à l'extérieur doivent toujours être en vue : en effet, si, par accident, d'autres fils tombaient sur ceux-là, ou si, par ignorance, on en plaçait d'autres dessus, on pourrait produire un *court circuit* ou une production soudaine de chaleur due à un courant d'électricité trop fort pour les fils qui le conduisent.

On ne saurait trop insister sur ce point, qu'il faut surtout éviter l'humidité et l'emploi de la terre dans le circuit.

L'humidité amène la perte du courant et la destruction du conducteur par corrosion électrolytique et l'emploi inconsidéré de la terre tend à augmenter toutes les autres causes de difficulté et de danger.

Le principal élément de sécurité consiste à n'employer, pour la surveillance des travaux, que des électriciens habiles et expérimentés.

I. — *La machine électrique.*

1. La machine dynamique doit être installée dans un endroit sec.

2. Elle doit être garantie de la poussière et des insectes.

3. Elle doit être tenue parfaitement propre et ses supports toujours bien huilés.

4. Les bobines et les fils doivent être parfaitement isolés.

5. Il est avantageux, si possible, de la fixer sur un support isolant.

6. Tous les conducteurs dans la chambre des machines doivent être solidement attachés, bien isolés, placés dans des conditions de facile examen et marqués ou numérotés.

II. — *Les fils.*

7. Chaque commutateur destiné à ouvrir ou fermer le courant doit être construit de telle sorte que, quand on le manœuvre ou qu'on le laisse au repos, il ne puisse s'y établir un arc voltaïque ou une production de chaleur. Le support doit être en ardoise, en poterie ou en toute autre matière incombustible.

8 Il doit y avoir, dans le circuit principal, un appareil de sûreté composé de métal fusible qui fond dès que le courant devient trop intense et coupe le circuit.

9. Chaque partie du circuit doit être calculée de telle façon que le diamètre du fil employé soit proportionné à l'intensité des courants qu'il aura à conduire. Quant aux passages d'un plus gros conducteur à un plus fin, ils devront être protégés par des appareils de sûreté, afin qu'aucune partie du conducteur ne puisse jamais dépasser 65 degrés centigrades.

N. B. Toute la sécurité réside dans ces appareils fusibles. Ils doivent toujours être renfermés dans des enveloppes incombustibles. Si les fils s'échauffaient d'une manière sensible sous l'influence d'un courant ordinaire, se serait une preuve qu'ils sont trop fins, et il faudrait les remplacer par des fils plus gros.

10. Dans les cas ordinaires, il faut avoir des circuits métalliques complets; et on ne devra jamais se servir de conduites d'eau ou de gaz conducteurs pour compléter le circuit.

11. Lorqu'un fil nu placé en plein air repose sur des supports isolants, il doit être recouvert, sur une longueur d'au moins 60 centimètres de chaque côté du support, d'une matière isolante, telle que du caoutchouc, placée en ruban ou en tube.

12. Les fils nus qui passent sur le toit des maisons doivent se trouver à 2 mètres au moins du toit, et lorsqu'ils traversent des rues, il doivent être assez élevés pour laisser passer les plus hautes voitures.

13. Il est essentiel que les attaches des fils soient parfaitement établies au double point de vue électrique et mécanique.

14. Lorsque les fils sont souterrains, leur place doit être clairement indiquée et ils doivent être placés de manière à pouvoir être facilement inspectés et réparés.

15. Tous les fils en usage dans l'intérieur des maisons doivent être parfaitement isolés.

16. Lorsque les fils passent au travers des toits, des planchers, des murs ou des cloisons, ou encore lorsqu'ils traversent ou qu'ils sont exposés à être mis en contact entre eux ou avec des pièces métalliques, telles que poutres en fer ou tuyaux, on devra les garantir du contact entre eux ou avec les pièces métalliques, par une seconde euveloppe. De plus, s'ils sont exposés à un frottement quelconque ou si l'on craint les rats ou les souris, on devra les enfermer dans une matière très dure.

17. Lorsque les fils sont placés sous les planchers et par conséquent cachés à la vue, ils doivent être parfaitement protégés contre les accidents mécaniques et leur position doit être indiquée.



N. B. On ne saurait trop souvent essayer les fils. C'est une opération à laquelle on devient facilement habile. On ne peut pas découvrir les pertes d'électricité par l'odorat, comme les fuites de gaz; mais on peut le faire au moyen d'appareils beaucoup plus sûrs et délicats. Les pertes ne produisent pas seulement une perte de force; mais s'il y a de l'humidité, elles détruisent les conducteurs et leurs isolants, par l'action électrique.

III. — *Les lampes.*

Les lampes à arcs doivent toujours être dans des lanternes pour éviter les dangers provenant de la chute de morceaux de charbon incandescents ou d'étincelles. Leurs globes doivent enveloppés d'un grillage de fil de fer.

19. Les lanternes et toutes les parties qui sont maniées doivent être isolées du circuit.

IV. — *Dangers pour les personnes.*

20. Pour garantir les personnes de tout danger à l'intérieur des maisons, il est essentiel d'installer les conducteurs et les appareils de telle sorte que personne ne puisse être exposé aux chocs de courants alternatifs dépassant 60 volts et qu'il n'y ait jamais une différence de potentiel de plus de 200 volts entre deux points dans la même chambre.

21. Si la différence de potentiel dans l'intérieur d'une maison dépasse 200 volts, que la source de l'électricité soit dehors ou dedans, la maison doit être pourvue à l'extérieur d'un commutateur qui permette d'interrompre instantanément le courant.

Le comité nommé par la Société, le 11 mai dernier pour préparer les instructions précédentes, était composé de MM. le professeur W. G. Adams, Sir Charles T. Bright, T. Russel Crampton, R. E. Crompton, W. Crooker, Warren de la Rue, professeur G. C. Foster, Edwards Graves, J E. H. Gordon, docteur Hopkinson, professeur D. E. Hughes, W. H. Preece, Alexandre Siemens, C. E. Spagnoletti, James N. Shoolbred, Augustus Stroh, Sir William Thomson, lieutenant colonel C. E. Weber.



Expériences de téléphonie avec conducteur interrompu.

L'île de Wight est reliée à l'Angleterre par un câble sous-marin. L'importance de cette communication est telle que l'électricien du Post-Office, M. W. H. Preece, a cherché un moyen de correspondre avec l'île, au moyen du téléphone au cas où le câble serait rompu et pendant le temps qu'on mettrait à le réparer.

La côte nord-ouest de l'île de Wight est séparée de la Grande-Bretagne par un bras de mer qu'on appelle la *Solent* qui a environ 20 milles de long, 6 milles de large à l'extrémité nord et 1 mille à l'autre.

Sur les indications de M. Preece, un lieutenant du génie, M. Hippesley, a pris les dispositions suivantes : il a mis dans la mer quatre plaques de terre aux quatre angles du quadrilatère formé par la Solent. Les lignes télégraphiques ordinaires ont été utilisées; celles de l'île de Wight allaient de Newport aux deux plaques de terre de ce côté présentant une longueur d'un peu plus de 20 milles; celles de l'Angleterre allaient de Southampton aux deux autres plaques de terre avec 30 milles de longueur.

On avait donc un circuit formé par les lignes aériennes et présentant deux solutions de continuité aux deux bouts de la Solent, l'une de 6 milles et l'autre de 1 mille de long.

M. Hippesley était à Southampton, un de ses aides à Newport.

Les téléphones que ces expérimentateurs avaient à leur disposition étaient médiocres, de sorte qu'on ne parvint pas à parler; mais on put correspondre en signaux Morse au moyen de l'artifice suivant : le transmetteur à Newport était mis en vibration par un son musical continu; une clef ordinaire, en coupant le conducteur, donnait la possibilité de transmettre des signaux Morse à Southampton.

Des expériences ont été faites vers 1845 par Alexandre Bain, à Hyde-Park, dans des conditions analogues; il cherchait à télégraphier d'un côté à l'autre de la *Sorpentine*, et on avait quatre plaques de terre dans ce petit lac. Le succès de ces expériences fut plus que médiocre et le souvenir en est presque

effacé. Le temps a marché, et ce qu'on n'avait pu faire au travers d'une rivière de parc, on vient de le faire à travers un bras de mer.

Nous avons dans ce succès une preuve nouvelle de la prodigieuse petitesse du courant qui suffit à actionner le téléphone.

(*L'Électricien.*) A. NIAUDET.

Le câble du Saint-Gothard.

Avant l'ouverture du tunnel du Saint-Gothard, le fil électrique qui servait à transmettre les dépêches directes de Suisse en Italie était obligé de suivre tous les contours de la montagne. En hiver, il était enfoui sous plusieurs mètres de neige quand il n'avait pas été rompu par les tempêtes qui précèdent la saison rigoureuse; la transmission ne s'effectuait pas avec trop de difficultés, quoique le pouvoir de condensation de la ligne ait augmenté par le changement de milieu. Mais un grave inconvénient était l'impossibilité de la réparer quand les communications se trouvaient interrompues. Aussi un des premiers soins de l'administration fédérale a-t-il été de faire servir le tunnel au passage d'un câble fourni par la maison Felten et Guillaume, de Cologne, pour le prix de 4.750 francs le kilomètre, livré à Bâle, non compris les droits de douane.

Le câble, qu a été construit avec un soin exceptionnel, renferme 7 conducteurs formés d'un toron de 7 fils de cuivre ayant un diamètre de $0^{mm},7$, et par conséquent la même conductibilité qu'un fil de $1^{mm},84$ de diamètre offrant par kilomètre une résistance maxima de 7 unités Siemens à 15° C. de température. La matière isolante conducteur se compose de quatre couches, la première, appliquée directement sur le cuivre en composition Chatterton; la seconde, en gutta-percha; la troisième, en composition Chatterton, et la dernière, en gutta-percha.

Chaque conducteur, enveloppé d'une couche isolante de $5^{mm},2$ d'épaisseur, offre, par kilomètre, une résistance d'iso-

lation d'au moins 1.000 millions d'unités Siemens à 15° C. et une capacité électro-statique maxima de 0,21 microfarad.

Il est entouré d'une spirale de chanvre goudronné qui maintient son centre à une distance assez grande des autres fils, pour qu'il n'y ait pas à craindre de courants d'induction; cependant quoiqu'ils ne nuisent point au service, le fait suivant prouvera qu'ils n'ont point été complètement supprimés.

Les sept conducteurs ainsi formés constituent un toron entouré à son tour de deux couches de chanvre goudronné et le tout est protégé par une armature de dix fils de fer galvanisés de $4^{mm},4$ de diamètre, entouré d'une couche de corde de chanvre goudronné d'une épaisseur de 3 millimètres. Le câble complet atteint ainsi un diamètre de 33 millimètres.

Un jour que la distance des stations extrêmes avait atteint déjà 12 kilomètres, on s'était trompé dans le choix des fils pour les téléphones. A la station d'essai on avait pris les fils 1 et 2 pour l'aller et retour et à la station dans le tunnel 1 et 3; les deux téléphones étaient donc intercalés dans un circuit ouvert, sous terre, dont les deux extrémités étaient à 12 kilomètres de distance l'une de l'autre. Malgré cette interruption dans le circuit, on a pu, non seulement converser, mais même s'avertir d'une station à l'autre au moyen de sonnettess magnéto-électriques. Au premier moment, cet incident était de nature à faire présumer un défaut grave dans le câble, mais les recherches minutieuses auxquelles on a procédé n'ont fait que constater l'état tout à fait normal du câble. Le phénomène n'avait pour cause que les courants de charge et de décharge qui, sur une distance de 12 kilomètres, étaient déjà devenus considérables. Cet incident a également prouvé la grande force des machines magnéto-électriques employées et la sensibilité des sonneries à électro-aimants polarisés dont on avait fait usage.

Le câble a été livré par longueurs de 1 kilomètre, et, comme il a une longueur de 15.200 mètres, il a fallu quinze soudures qui ont été exécutées à l'aide de la méthode employée par l'administration allemande.

Après de nombreux essais, l'on a renoncé à l'idée d'enfouir le câble dans le sol. On l'a suspendu dans un chenal en bois placé à une assez grande hauteur pour être à l'abri de la mal-

veillance. Au lieu de le placer dans un de ces tubes en plomb qui sont peut-être trop en usage dans les administrations françaises et anglaises, il était noyé dans une enveloppe en gutta-percha.

Il a été protégé du côté de Göschenen en Suisse et d'Airolo en Italie par deux magnifiques parafoudres construits exprès. Le total de la dépense s'est élevé à 120.000 francs, soit 8.000 fr. par kilomètre.

Application du téléphone au scaphandre.

Note de M. G. le Goarant de Tromelin.

J'ai fait partie, il y a quelque temps déjà, d'une commission chargée d'expérimenter l'adaptation du téléphone aux divers systèmes de scaphandres réglementaires dans la marine de guerre. Les *Comptes rendus* avaient déjà mentionné cette application, dont l'idée appartient à M. des Portes, capitaine de frégate. Il était nécessaire de s'assurer de la valeur des résultats obtenus par des expériences nombreuses et faites avec soin.

Un téléphone circulaire assez plat, de 6 centimètres de diamètre, muni à l'intérieur de deux aimants superposés, de forme spirale, du poids total de 88 grammes, avait été fixé à l'intérieur d'un casque système Denayrouze, au moyen de deux vis soudées à l'intérieur du casque et à la hauteur de l'oreille, à la place où se trouve la plaque vibrante de ces sortes de casque lorsqu'ils sont munis d'un porte-voix ordinaire. Un trou avait été percé dans le conduit de ce porte-voix pour y faire aboutir le conducteur allant au téléphone. L'un des fils du téléphone était relié intérieurement à une borne vissée dans le casque, qui servait ainsi de plaque de terre.

Le téléphone transmetteur était pareil à celui du casque; les téléphones récepteurs étaient de différentes espèces; ceux construits par M. Gaiffe ont donné d'excellents résultats. Le système avertisseur se composait d'un simple petit cornet à

bouquin long de 8 centimètres sur 2 centimètres de large. Lorsqu'on voulait appeler le plongeur pour lui parler, on soufflait dans ce petit cornet en mettant son pavillon près de la plaque du téléphone transmetteur. L'appel ainsi fait au scaphandrier a *toujours* été entendu dans quelque position qu'il se trouvât. Le plongeur, pour prévenir qu'il désirait communiquer, n'avait qu'à dire « attention » appel qui était également très bien entendu.

Lorsqu'on avait appelé le plongeur, celui-ci était obligé, pour entendre commodément, de prendre la précaution d'appuyer sa main sur la soupape d'évacuation de manière à ne pas être gêné par ce bruit. Il prévenait qu'il était prêt et la conversation commençait. Mais comme *la pompe continuait à fonctionner*, on était obligé, au bout de quelques minutes, d'interrompre la communication, afin que le plongeur pût faire évacuer le trop plein de l'air.

Ces essais ont été poussés jusque par des fonds de 14 mètres seulement, n'ayant pas à proximité de plus grands fonds. La commission n'a constaté aucune différence. L'influence de la profondeur agit en effet sur les oreilles du plongeur, et il était à craindre que l'ouïe n'en fût altérée. Il faut, pour les téléphones qui ont une fermeture hermétique, prendre la précaution de faire un petit trou dans la plaque du téléphone, sans cela cette dernière se gondolerait et se collerait contre l'aimant par l'excès de pression.

Les dénudations sur le conducteur entre le casque et le transmetteur ont peu d'influence sur l'amplitude des sons perçus.

Pour appliquer le téléphone aux casques du système Cabriol, il faut lui adjoindre une soupape à réglage, comme dans le Denayrouze, pour faire passer le conducteur.

Un microphone ordinaire et celui d'Ader ont été essayés. La commission n'a pas remarqué qu'il y eût une supériorité bien marquée en faveur du microphone Ader. Le plongeur entend tout aussi bien avec un bon téléphone.

De plus, le prix élevé du téléphone à charbons multiples, l'emploi de piles, sans supériorité marquée sur le téléphone ont semblé à la commission des raisons suffisantes pour rejeter l'emploi du microphone.

La commission a également comparé le porte-voix ordinaire (système Denayrouze) et le téléphone.

La communication avec l'extérieur est dans les deux cas assurée. Les précautions à prendre pour que le plongeur puisse écouter sont les mêmes (manœuvre à soupape).

Les sons perçus par le porte-voix ordinaire se rapprochent beaucoup de ceux du téléphone comme timbre et comme amplitude; la voix est un peu plus sourde.

Je dois ajouter que l'influence de la profondeur se fera forcément sentir davantage lorsqu'on se servira du porte-voix ordinaire ou du téléphone.

Le porte-voix ordinaire aboutit en effet à une plaque soudée au casque destinée à vibrer lorsqu'on parle de l'extérieur, mais sans communication d'air entre l'extérieur et l'intérieur du casque. Il en résulte que lorsque le plongeur parle, il met en vibration un air à la pression intérieure du casque, et la plaque vibre facilement; mais de l'extérieur la personne qui parle au scaphandrier, même en criant très fort, a grand'peine à mettre en vibration cette plaque gondolée, sur les deux faces de laquelle il n'y a pas d'équilibre de pression. Cet inconvénient s'accentuera à mesure que l'on opérera par de plus grands fonds. Le téléphone au contraire n'est pas affecté par l'influence de la pression, qui est égale sur les deux faces de la plaque du téléphone.

Les oreilles du plongeur, seules, peuvent devenir moins bonnes. Si à ces considérations on ajoute celles de l'obligation où l'on se trouve de se servir d'un gros tuyau au lieu d'un simple fil conducteur, le choix de la commission en faveur des communications, téléphoniques s'expliquera natullement.

Je me suis étendu un peu longuement sur cette application qui intéresse au plus haut point non seulement la marine, mais encore l'industrie en général, les entreprises sous-marines, les sauvetages, les travaux hydrauliques, les ponts et chaussées, etc.

Je pense que cette application, que M. le commandant des Postes a faite si heureusement, résout complètement la question. J'espère que ces renseignements pourront permettre, dès maintenant, aux intéressés, d'avancer l'heure où ils au-

raient pu, en connaissance de cause, faire usage de ce procédé si simple pour les communications sous-marines.

(*La Lumière électrique.*)

Production de courants électriques instantanés dans les fils de fer ou d'acier en les tordant s'ils sont aimantés, ou les aimantant s'ils sont tordus.

Expériences de MM. Ewing et Fleeming Jenkin.

Un fil de fer ou d'acier soumis à l'action d'une spirale magnétique fournit, quand on le tord, un courant longitudinal instantané dirigé de son pôle nord à son pôle sud quand la torsion est dans le sens d'une vis ordinaire, et du pôle sud au pôle nord quand la torsion est de sens contraire.

Le renversement de l'aimantation longitudinale du fil soumis à la torsion produit un courant instantanné énergique; mais l'interruption ou le rétablissement du courant magnétisant ne produit qu'un effet insensible. Toutefois la première application du courant à un fil tordu non aimanté donne un courant.

Un fil aimanté non soumis à l'action d'une force magnétisante extérieure fournit, quand on le tord, un courant de même sens que celui qui a été indiqué précédemment.

Les courants instantanés produits par la torsion d'un fil aimanté avaient été observés par Matteucci en 1858, mais ce savant leur assignait une direction inverse de celle qu'indiquent les auteurs, et il n'avait point observé le courant produit par l'aimantation d'un fil tordu.

Les auteurs appellent provisoirement *polarisation* l'état d'un fil résultant de la superposition d'une torsion et d'une aimantation longitudinales, état qui persiste après l'ablation de la force magnétisante; cette polarisation a pour mesure le courant instantané qui accompagne sa production. Les auteurs ont construit des courbes indiquant la variation de

la polarisation avec l'angle de torsion. On y reconnaît très nettement la persistance partielle des effets antérieurs, telle qu'elle résulterait par exemple d'un frottement; les courbes correspondant à la torsion et à la détorsion ne se superposent pas, mais embrassent une aire assez large dans leur intervalle. Le changement de polarisation est en retard sur le changement de la torsion, à moins qu'on ne diminue l'obstacle moléculaire en faisant vibrer le fil. MM. Jenkin et Ewing donnent le nom d'*hystérèse* à cet obstacle que l'on désigne habituellement sous le nom assez impropre de *force coercitive*.

Les effets observés paraissent susceptibles d'un maximum pour une valeur convenable de l'intensité du champ magnétique, et les auteurs pensent qu'ils seraient susceptibles de renversement par l'action d'une force magnétisante suffisamment énergique. Les effets diminuent un peu quand la torsion dépasse la limite d'élasticité; enfin ils sont moindres avec l'acier qu'avec le fer, bien que pour l'acier l'hystérèse, comme on devait s'y attendre *a priori*, soit plus considérable que pour le fer.

(*Journal de Physique.*) E. Bouty.

L'inductophone de M. Villoughby Smith.

Cet appareil se compose d'une grande longueur de fil fin isolé enroulé sur lui-même en spirale sous la forme d'un disque pris entre deux feuilles de carton et traversé par un courant interrompu par les vibrations d'un diapason électrique qui lui imprime des variations ondulatoires analogues à celles qui caractérisent les courants téléphoniques.

Si l'on approche de ce tableau la membrane d'un téléphone avec ou sans aimant, elle se met à vibrer synchroniquement avec le diapason : les sons émis sont d'autant plus intenses qu'on se rapproche plus du tableau.

On n'a pas encore déterminé la distance au delà de laquelle l'influence du tableau cesse de se faire sentir.

Les expériences de M. Smith ont nettement démontré que

les téléphones peuvent être actionnés par un circuit auquel ils ne semblent reliés par aucun lien matériel.

(*La Lumière Électrique*).

Bibliographie.

Congrès international des Électriciens de 1881.
Comptes rendus des travaux.

Le compte rendu des travaux du Congrès international des Électriciens vient de paraître à la librairie Masson. Il forme un volume de 400 pages (grand format) et contient les procès-verbaux de toutes les séances tenues par le Congrès; séances plénières, séances des première, seconde et troisième sections, séances des deuxième et troisième sections réunies, enfin, séances des diverses commissions qui ont fonctionné pendant le Congrès (commission des unités électriques, commission de l'électro-physiologie et commission des lignes télégraphiques). On y trouve aussi un certain nombre de pièces annexes se rapportant à des communications faites pendant les séances.

On sait que la première section avait à étudier les questions théoriques, les sources d'électricité, les paratonnerres et l'électro-physiologie; la seconde, la transmission des signaux et de la parole par l'électricité, et son application à la télégraphie, à la téléphonie et aux chemins de fer; quant à la troisième, elle a eu à traiter toutes les applications industrielles de l'électricité.

Nécrologie.

M. Antoine Bréguet.

Nous enregistrons avec un profond chagrin la perte que la science vient de faire dans la personne d'Antoine Bréguet, qui,

après s'être fait un nom distingué parmi les électriciens, vient de mourir prématurément (le 8 juillet) à l'âge de 32 ans. On sait la part importante qu'il a prise à l'Exposition d'électricité de 1881, au succès de laquelle il a puissamment contribué.

Il était depuis plusieurs années directeur de la *Revue scientifique*, en même temps qu'il dirigeait l'importante maison de construction d'appareils, qui a été célèbre dans sa spécialité pendant plusieurs générations.

Le Gérant : Dunod — Imprimerie C. Marpon et E. Flammarion, 26, rue Racine.

ANNALES
TÉLÉGRAPHIQUES

Année 1882 **Juillet-Août**

LA TÉLÉGRAPHIE
A L'EXPOSITION D'ÉLECTRICITÉ
DE 1881

SUITE (*).

LA SCIENCE ÉLECTRIQUE.

Et d'abord, qu'est-ce que c'est que l'électricité?

Il y a en général, dit M. Babinet, trois manières de définir : par étymologie, par théorie, par énumération.

Par étymologie, électricité vient du mot grec qui désignait l'ambre jaune, parce que c'est sur cette substance que l'on a observé la première manifestation électrique, l'attraction des corps légers par une résine frottée.

C'est de la définition par théorie que l'on peut dire avec raison : définir, c'est conclure. Pour définir théoriquement l'électricité, il faudrait avoir le dernier mot

(*) Voir livraison mars-avril 1882, p. 131.

de la science, connaître son essence, sa nature intime; ce qui ne sera pas de longtemps, si toutefois on y arrive jamais. Cependant, si tout dans le monde physique est matière ou force, on peut affirmer que ce n'est pas de la matière : ce ne peut donc être qu'une forme de la force.

Définir l'électricité par l'énumération de ses effets est une tâche bien vaste, aujourd'hui qu'il est reconnu qu'elle intervient à peu près dans tous les phénomènes de la nature vivante ou inorganique. C'est cependant le seul parti à prendre : on ne peut définir l'électricité que par ses propriétés.

L'étude de l'électricité comporte deux grandes divisions : l'électricité *au repos* et l'électricité *en mouvement*. Entre les deux se place le *magnétisme*, qui ne se sépare pas de l'électricité depuis les travaux d'Ampère.

Chronologiquement et didactiquement, l'étude de l'électricité au repos ou *statique* (électro-statique) doit précéder l'étude de l'électricité en mouvement ou *cinétique* (*électro-cinétique*, *galvanisme* ou *électricité voltaïque*).

L'ÉLECTRICITÉ STATIQUE.

Un des grands mérites de l'Exposition actuelle, c'est d'être à la fois rétrospective et moderne; c'est d'avoir rassemblé, dans chaque nation et pour chaque branche de la science électrique et de ses applications, toutes les inventions depuis l'origine jusqu'à nos jours; en sorte que l'on peut suivre facilement leurs phases successives dans les divers pays, puis juger d'un seul coup d'œil le progrès accompli par le contraste de la forme première et de la forme présente. L'histoire de l'électricité, on la trouve tout entière dans ces admirables collections de manuscrits et d'instruments origi-

naux qui initient aux secrets des chercheurs et de leurs découvertes.

Sur l'un des écussons qui ornent la grande nef du palais s'étale le nom vénérable de *Thalès de Milet* (600 av. J.-C.), une réminiscence des études classiques. C'est à ce philosophe, ou du moins à son école, que l'on fait remonter la découverte de la propriété de l'ambre jaune frotté. Ajoutez un fragment de *Théophraste* (300 av. J.-C.) sur la propriété de la tourmaline chauffée, la description de quelques effets de la foudre dans *Pline* (*), et vous serez édifié sur l'état des connaissances électriques jusqu'au XVIIe siècle. Ces origines de l'électricité ont pris place dans la bibliothèque où *Sir Francis Ronalds* a recueilli toutes les publications concernant l'électricité, le magnétisme et la télégraphie, qu'il a léguée à la *Société des ingénieurs des télégraphes*, et dont le catalogue est exposé dans la section anglaise.

Les anciens ont bien autre chose en tête que d'étudier la nature : d'interminables débats sur les problèmes insolubles de la haute métaphysique absorbent leur activité, et quand, au moyen âge, surgissent quelques chercheurs, leur imagination avide du merveilleux les égare et les lance dans la recherche de la destinée et de la pierre philosophale : de là la magie, l'astrologie, l'alchimie. La révolution commence au XIIIe siècle, où Albert le Grand et Roger Bacon font quelques pas dans la voie de l'observation et de l'expérience : il faut aller cependant jusqu'au XVIIe siècle pour constater un progrès dans l'électricité. En 1600, *Gilbert* retrouve la vertu de l'ambre jaune dans une série d'autres corps, et son

(*) Voir l'article de M. *Boullet*, sur l'état des connaissances électriques chez les anciens peuples d'Italie (*Annales*, 1863), et les *Inventeurs de la télégraphie électrique* (*Annales*, 1876).

contemporain et son compatriote, le chancelier d'Angleterre Bacon, pose les règles de la méthode expérimentale et trace ainsi la véritable route de la science moderne.

A la fin du même siècle apparaît la première machine électrique : c'est la boule de soufre, qu'*Otto de Guericke* frotte avec un morceau de drap (section allemande). Le XVIIIe siècle fonde l'électricité statique : *Gray* et *Wheeler* découvrent que l'électricité peut se transmettre d'un point à un autre et classent les corps en conducteurs et isolants; *Dufay* distingue les deux espèces d'*électrisation* et établit la règle de leurs actions : *répulsion des similaires, attraction des dissemblables.* Avec ses *sphères pulsantes*, M. *Bjerknes* démontre, à l'exposition de la Norvège, les curieuses analogies inverses de certains phénomènes hydrodynamiques avec ces phénomènes fondamentaux de l'électricité et du magnétisme.

Aux dénominations génériques d'électricité *vitrée* et *résineuse*, Franklin substitue celles algébriques de *positive* et *négative*, qui rappellent sans cesse à l'esprit le fait capital de la production simultanée et en quantités équivalentes des deux électrisations contraires ; car leurs effets se neutralisent, autrement dit leur somme est nulle. Donc l'électricité n'est pas une substance matérielle, car deux substances ne peuvent pas s'annuler.

La *bouteille de Leyde* fait son apparition vers le milieu du siècle, et ses effets physiologiques attirent surtout l'attention générale. Ils sont décrits dans les ouvrages de *l'abbé Nollet*, *Franklin* et autres, que l'on remarque dans la riche collection de l'*Université de Louvain.* Peu après, Francklin démontre, par sa célèbre expérience du cerf-volant, l'identité de l'étincelle électrique avec la foudre, identité que *Newton* avait entrevue en 1716, comme l'indique une lettre autographe exposée par

M. *Latimer Clark*. En 1760, il construit le *paratonnerre:* c'est le premier des grands services que l'humanité doit à la science électrique.

Pendant ce temps les machines électriques se perfectionnent : ce sont d'abord les cylindres ou les globes en verre que l'on frotte à la main (section anglaise), puis les premières machines à plateau de *Ramsden*, dont les Pays-Bas montrent le beau spécimen à double plateau de *Van Marum*, et celles de *Nairne* dans les sections belge et italienne. A côté de la grande machine des Pays-Bas, on voit la batterie de 25 bouteilles de Leyde, présentant plus de 12 mètres carrés de surface garnie, l'*excitateur* et les *électromètres* de Brook, Henley, Lane, qui ont servi aux expériences de Van Marum, décrites dans les mémoires originaux que l'on a sous les yeux. Remarquer aussi un mémoire de *Deimann* et *Paets* contenant la description de la machine avec laquelle ils réussirent à décomposer l'eau (Amsterdam, 1789). Voici enfin dans l'exposition italienne des *électrophores* (1) construits par *Volta* lui-même (1775), et les instruments dont le célèbre physicien se servait dans ses expériences : pistolet de Volta, — lampe à hydrogène, — *eudiomètre*, — appareils pour l'étude de l'électricité atmosphérique, — *électromètres* de *Henley*, *Bennett*, *Cavallo*, *Volta*, — l'électromètre condensateur. Pour en finir avec les anciennes machines, il faut encore citer le *duplicateur* de *Nicholson* (1788), qui donne sans frottement les deux espèces d'électricité et *multiplie* par l'*induction* une petite charge donnée. C'est la première application de la transformation directe du travail mécanique en énergie électrique, principe fécond auquel nous devons aussi les machines *dynamo-*

(1) L'électrophore paraît avoir été inventé par le physicien suédois Wilcke, de 1758 à 1762.

électriques. L'Italie exhibe un ancien duplicateur de *Belli.*

On savait produire l'électricité statique, restait encore à la mesurer et à trouver ses lois : ce fut l'œuvre de *Coulomb;* elle clôt dignement la première période importante de l'électricité, qui se termine avec le XVIIIe siècle. En 1787, par la *balance de torsion*, il établit expérimentalement que les actions électriques suivent la grande loi de la nature, la loi de l'inverse carré des distances. C'est le fondement de la théorie mathématique de l'électricité, déjà ébauchée par *Cavendish* (1771-1781), dont les travaux ont été exhumés en 1879 par *Maxwell.*

Et maintenant, pour juger des progrès, passez de la boule de soufre d'*Otto de Guericke* aux machines modernes à frottement, telles que la machine de *Winter*, de Vienne, qui se trouve dans la vitrine du matériel d'enseignement de l'électricité en Suède; du duplicateur de Belli, soit aux machines de *Holtz*, dont la section belge montre un des premiers types et dont l'Allemagne offre des spécimens perfectionnés, tels que la machine à amorçage automatique de *Voss*, ou les machines à 60 et 20 disques de *Tœpler;* soit au *rechargeur* (*replenisher*) de l'électromètre de *Thomson*, ou au *moulin à souris* (*mouse-mill*) de l'enregistreur de télégraphie sous-marine (*syphon-recorder*) du même savant; de l'électrophore de Volta aux machines diélectriques de *Carré* et au petit électrophore à rotation de M. *Humblot* (ministère des postes et des télégraphes); de l'antique œuf électrique du commencement du XVIIIe siècle, exposé dans la section allemande, aux tubes de *Geissler*, d'*Alvergniat* et de *Crookes;* des électromètres de Volta et autres (parmi lesquels celui de *Bohnenberger* à pile sèche), des balances de *Coulomb* et *Harris* aux

instruments de haute précision de *Sir W. Thomson* (électromètre à quadrants, électromètre absolu).

L'étude de l'électricité atmosphérique a pris aussi de grands développements : après les instruments de *Saussure*, *Volta*, *Belli*, *Peltier* viennent l'électromètre de *Dellmann* (1851-1870), l'électromètre portatif de *Thomson* avec son *collecteur à gouttes d'eau*, les électromètres *enregistreurs* de *Kew* et de *Montsouris*.

Pour la protection des édifices contre la foudre, après avoir lu les instructions de *Poisson*, *Gay-Lussac*, etc., adoptées par l'Académie des sciences en 1823, vous avez à vous prononcer entre le système adopté par la *Ville de Paris*, aux grandes tiges protégeant une zone déterminée et reliées à la terre par autant de conducteurs à grosse section, et le système de *Melsens*, aux pointes courtes et multipliées, reliées à la terre par de nombreux conducteurs de section relativement faible, rappelant la *cage en fer* de *Faraday*, ou l'assertion de *Snow Harris* qu'un homme dans une armure de fer est absolument à l'abri de la foudre. Le premier système est représenté dans le modèle de l'hôtel Carnavalet, exposé dans le pavillon de la Ville, avec indication du cône de protection des tiges ; le second, qui a été appliqué par M. Melsens à l'hôtel de ville de Bruxelles, est représenté dans la maquette du monument élevé à Laeken à la mémoire de Léopold Ier (section belge). Mentionnons aussi les paratonnerres de l'*Observatoire du Puy-de-Dôme*, installés par M. *Alluard*, et dont les conducteurs ne plongent que dans une couche de terre toujours humide. Les *Annales* de 1878 à 1880 renferment plusieurs mémoires sur le tonnerre et les paratonnerres. M. *Colladon*, de Genève, a étudié les effets de la foudre sur les arbres, et l'on voit dans la section suisse les représentations plastiques des

effets qu'il a observés. Comme exemple de statistique des coups de foudre, la Norvège donne la carte des églises foudroyées. Enfin le Dr *Weber*, de l'Université de Kiel, expose une collection de pointes de paratonnerres et autres objets frappés par la foudre dans le Schleswig-Holstein.

Suivons aussi les progrès de la science pure. Puisque les actions électriques obéissent à la loi de gravitation universelle, on peut leur appliquer la *théorie du potentiel*, dont la conception est due à *Laplace*, suivant le témoignage de *Legendre*, qui, le premier, en fait usage. *Poisson* (1811) s'en sert ensuite dans l'étude de la distribution de l'électricité, et *Green* (1828) en fait la base de son *Essai sur les applications de l'analyse mathématique à la théorie de l'électricité et du magnétisme*, ouvrage très rare qui figure dans la collection de M. Clark. Depuis lors, *Gauss*, *Kirchhoff*, *Helmholtz*, *Clausius* et *W. Thomson* utilisent continuellement ses propriétés dans leurs ouvrages traitant des forces naturelles attractives et répulsives. Enfin, en 1860, dans un mémoire célèbre lu à la Société Royale, M. Thomson définit avec précision les termes électriques et distingue nettement la tension ou pression électrique à la surface des conducteurs du *potentiel électrique*, dont la constance caractérise l'électricité au repos, et dont la variation d'un point à un autre détermine le mouvement de l'électricité entre ces deux points. La théorie du potentiel est exposée d'un façon élémentaire dans le *Traité de physique* de M. *Moutier*, actuellement en cours de publication, et dans les articles sur les *grandeurs électriques et leur mesure en unités absolues*, publiés par M. *Blavier* dans les *Annales* de 1874 à 1880 et aujourd'hui réunis en volume. Pour ceux qui ne reculent pas devant les difficultés de l'analyse, ils

consulteront le traité de M. *Clausius* sur la *fonction potentielle et le potentiel* et la théorie mécanique de la chaleur de M. *Briot*, etc.

En 1837, *Faraday* commence à publier ses travaux sur l'*induction* et sur les *capacités inductives spécifiques des isolants*, sujet qui a pris une si grande importance pratique depuis le développement de la télégraphie sous-marine, et dont les premières études remontent à *Cavendish* (1771-1781) et *Belli* (1830-1837). Dans ses *Recherches expérimentales*, à la théorie des actions à distance, Faraday substitue la théorie qui place le siège des phénomènes dans le milieu intermédiaire. Dans son traité magistral d'électricité et de magnétisme, *Maxwell* a traduit en langage mathématique les idées de Faraday et assimilé l'état mécanique d'un milieu électrisé à l'état de déformation d'un corps élastique. Sans nous étendre sur les nombreux travaux entrepris de nos jours pour déterminer les capacités inductives spécifiques des solides, des liquides et des gaz, mentionnons les recherches si consciencieuses de *Gaugain*, reproduites dans les *Annales* de 1865.

Enfin, dans son *Traité d'électricité statique*, M. *Mascart* résume l'état actuel de nos connaissances sur ce sujet. Il décrit en particulier toutes les sources d'électricité statique, au nombre desquelles le dégagement d'électricité par la pression est représenté dans la collection du *Conservatoire des arts et métiers* par l'appareil original de *A.-C. Becquerel* (1823).

MAGNÉTISME.

Suivant Aristote, la propriété que possède un certain minerai de fer d'attirer ce métal était connue du temps

de Thalès de Milet. La Suède expose un gros fragment de ce minerai, que les anciens trouvèrent pour la première fois à *Magnésie*, souvenir consacré par le mot de magnétisme. L'exposition des Pays-Bas présente des aimants naturels *armés* dont un est très puissant, et un autre avec armature ornée dans le style antique porte en caractères russes son poids et sa force portative.

Au lieu d'étudier les propriétés des aimants, on essaya d'abord d'en deviner les causes, ce qui donna lieu aux explications les plus étranges. C'est encore à Gilbert (1600) que l'on doit les premiers faits précis. Son livre célèbre *De magnete* figure dans la collection de l'université de Louvain. *Galilée* s'occupa du magnétisme, et l'on voit dans la collection du *musée de Florence* une pierre d'aimant armée par lui (1607) à côté de l'aimant naturel de l'*Académie del Cimento* et de deux autres aimants naturels d'un poids énorme, dont l'un de forme sphérique.

Jusqu'au milieu du XVIIIe siècle, la simple touche était le seul moyen de faire des aimants artificiels ; *Knight* invente la touche séparée, que perfectionne *Duhamel*, et *Mitchell* la double touche, que perfectionne *Æpinus*. Parmi les aimants artificiels de l'Exposition, on remarque les puissants aimants de *Van Wetteren* (Pays-Bas) et le grand aimant *Jamin* d'une force portative de 500 kilos, les aimants de diverses grandeurs (systèmes Jamin et autres) construits par M. *Bréguet*, ceux que M. *de Méritens* emploie dans ses machines magnéto-électriques, des aimants en alliage de fonte de M. *Carré*, et des aimants en nickel.

En 1789, *Coulomb* découvre les lois des actions magnétiques et de la distribution du magnétisme dans un barreau aimanté. *Poisson* et les autres géomètres déjà cités développent ensuite la théorie mathématique du

magnétisme, parallèlement à celle de l'électricité statique.

Le chapitre du *magnétisme terrestre* est le plus attrayant de l'étude du magnétisme. La boussole ancienne chinoise de M. *Cooke*, exposée à côté d'une vieille boussole anglaise, rappelle que la boussole aurait été connue des Chinois dès le IVe siècle. En Europe, on s'en servait au XIIe siècle, car il en est fait mention dans un poème de Guyot de Provins et dans le *De naturis rerum* du moine *Neckam* (1157-1217), exposé par M. *Clark*, au milieu d'une série de très anciens ouvrages sur le magnétisme.

La première observation de la *déclinaison* est attribuée à Adsiger (1269) par les uns, à Colomb (1482) par les autres; l'*inclinaison* a été découverte par Norman (1576), qui publia son travail en 1581, sous le titre *The newe attractive* (collection Clark). L'*Institut de physique de Padoue* exhibe une boussole de 1597 qui a dû servir à *Galilée*, car il donna des leçons dans l'université de cette ville de 1592 à 1610. Les Pays-Bas et la Norvège exposent de belles boussoles marines; mais on remarquera surtout le compas de marine perfectionné de *Sir William Thomson*, avec ses fines aiguilles parallèles. ses miroirs azimutaux, son système pour la compensation du fer du navire, etc. (Voir *Annales* 1877, 1878 et 1880). On voit des boussoles *Duchemin* à aimant circulaire et des boussoles de nickel dans l'exposition française.

Gilbert fit la première théorie du magnétisme terrestre en assimilant la terre à un aimant. En 1683, Halley publia la théorie des quatre pôles. En 1688 et 1689, le gouvernement anglais organisa des expéditions magnétiques et publia, en 1701, les premières cartes d'égale déclinaison. Graham, célèbre constructeur anglais, dé-

couvrit les variations diurnes en 1722. *Wilcke*, en 1768, publia à Stockholm la première carte d'inclinaison : la Suède expose une boussole de Wilcke, portant la date de 1771. En 1785, le gouvernement français essaya d'organiser des observations systématiques par l'expédition de l'*Astrolabe* et de la *Boussole*, que dirigeait La Pérouse et dont l'issue (1788) fut si malheureuse. Ce fut Humboldt qui, dans son voyage en Amérique (1798-1803), inaugura ce genre d'observations. En 1817, *Hansteen* publia à Christiania son grand travail sur le magnétisme de la terre, qui figure à l'exposition de Norvège ; les instruments dont il se servit dans ses recherches et dans ses voyages sont exposés par l'observatoire de Christiania ; c'est aussi à Hansteen que l'on doit les premières cartes isodynamiques (1826). En 1831, Barlow attribue une origine électrique au magnétisme terrestre et imagine la correction mécanique des compas par des barreaux compensateurs (*Annales*, 1880). Les recherches de *Quetelet* sur l'intensité magnétique dans divers pays, et dont les premières remontent à 1830, sont dans la section belge. En 1832, *Gauss* fonda l'*Union magnétique* dont Gœttingue est le centre. L'Allemagne montre des photographies des instruments imaginés par Gauss pour l'observatoire de cette ville, et MM. *Elliott* (Angleterre) ont dans leur vitrine le *magnétomètre* de Gauss, modèle actuel de l'obser-servatoire de Kew. Les observations de l'Union magnétique sont publiées en 1836 par *Gauss* et *Weber*, dont l'observatoire de Gœttingue expose les œuvres, et le colonel *Sabine*, en 1837, publie une carte isodynamique du monde entier. Les enregistreurs photographiques aujourd'hui en usage dans les observatoires pour l'inscription automatique des observations magnétiques ne sont pas représentés.

La recherche des minerais de fer se fait à l'aide de la *boussole des mines*. L'Allemagne expose trois boussoles de mines, construites respectivement en 1541, au commencement du XVIIIe siècle et de nos jours, et la Suède un magnétomètre du professeur *Thalen*, d'Upsal, pour le même usage.

Les analogies du magnétisme et de la torsion ont été l'objet d'études très curieuses de M. *Wiedemann*, dont les appareils figurent dans la section allemande.

LE GALVANISME ET LA PILE.

La fin du XVIIIe siècle a vu naître le galvanisme. C'est à une expérience de physiologie, faite par le médecin *Galvani*, qu'est due la découverte de la pile, cet appareil merveilleux, qui non seulement produit de l'électricité, mais qui la renouvelle continuellement dès qu'elle s'est écoulée par un fil métallique. Tout le monde connaît l'histoire des grenouilles de Galvani suspendues à un balcon de fer par un crochet de cuivre (1786) et sa célèbre discussion avec *Volta* (1797), Galvani attribuant les contractions des grenouilles à l'électricité propre des nerfs et des muscles, Volta au *contact* des métaux différents. L'*Institut de Milan* met sous les yeux les reproductions photographiques des instruments employés dans les recherches de Volta, disposés suivant l'ordre chronologique de ces recherches, en sorte que l'on peut suivre toutes les phases de l'invention de la *pile à colonne* (1799). L'exposition rétrospective italienne est riche en instruments de toute sorte ayant appartenu ou servi à Volta (1743-1827) : après les collections de l'Institut de Milan, voyez celles des cabinets de physique de l'*université de Pavie* et du *lycée Volta* (de Côme). Dès 1792, *Fabroni*, de

Florence, avait émis l'idée que l'*action chimique* jouait un rôle dans l'expérience de Galvani; idée reprise par *Davy* en 1800, *Wollaston* (1801), et que *Faraday* devait plus tard (1840) soutenir avec tant d'autorité. Et aujourd'hui, il est reconnu que la vérité se trouvait partout, et dans l'explication électro-physiologique de Galvani, et dans la théorie du contact de Volta, et dans celle de l'action chimique de Fabroni, Davy, Wollaston et Faraday. L'électricité animale existe, comme le démontrent les décharges violentes de la torpille, que M. *Marey* a réussi à analyser avec un appareil exposé par le *Collège de France*, et les courants musculaires mis en évidence par les expériences de *Nobili*, *Matteucci*, *Dubois-Reymond*, *Marey*, *Paul Bert*, *d'Arsonval*, *Boudet de Paris*, etc. Le contact de deux métaux détermine une différence de potentiel, comme l'a démontré directement M. W. Thomson et comme le prouve le développement de l'électricité dans les piles thermo-électriques : mais le contact seul serait impuissant à renouveler l'électricité, et comme *rien ne se crée de rien*, il faut l'action chimique ou toute autre source d'énergie pour alimenter le courant de la pile.

En 1800 apparaît la *pile à couronne* de tasses de Volta, suivie d'un essai de *pile à auge* en verre. La pile à auge est perfectionnée par *Cruiksand* (1802) et peu après par *Wollaston* : la disposition de Cruisksand fut adoptée pour la grande pile que Napoléon Ier donna à l'École polytechnique et qui servit à Gay-Lussac et Thénard; l'*observatoire de Bruxelles* expose une batterie Wollaston, qui aurait servi à Ampère. Vinrent ensuite les *piles à hélice* dont les couples secondaires de Planté et de Faure rappellent aujourd'hui la forme, puis divers modèles de piles moins encombrantes et plus portatives.

On sait produire le courant électrique, il faut étudier ses propriétés, sa mesure et ses lois.

Le courant électrique : ses propriétés.

Les propriétés du courant électrique peuvent être classées dans trois catégories. Ce sont, en suivant l'ordre chronologique de leur découverte : les propriétés *physiologiques*, *chimiques* et *physiques*.

Comme nous l'avons vu, c'est à un effet physiologique même du courant qu'est due la découverte de la pile. La découverte de ses propriétés chimiques suivit immédiatement la publication de celle de la pile (1800). Quelques semaines après, *Carlisle* et *Nicholson* décomposaient l'eau et, un peu plus tard, un certain nombre de sels. La même année (1800), Volta répéta ces expériences, et les appareils qu'il employa à cette occasion font partie de la collection de l'Institut de Milan. Dans sa célèbre *Bakerian Lecture* de 1807, Davy énumère les principaux caractères des décompositions chimiques, et l'année suivante, il découvre par ce procédé le potassium, le sodium, le baryum, le strontium, le calcium et le magnésium. *Faraday* (1833-34) donne le nom de *voltamètre* aux appareils à décompositions chimiques, et trouve les lois de ces phénomènes. Le voltamètre et le galvanomètre montrent l'action du courant dans le circuit extérieur; l'ingénieux galvanomètre de M. *Cooke*, où les liquides de la pile sont reliés par une spirale de verre qu'ils remplissent, met en évidence le passage du courant dans l'intérieur de l'élément.

L'*électro-chimie* traite des rapports de l'électricité avec la chimie. Son étude peut se diviser en trois parties (*) :

(*) Voir l'exposé de M. *Henri Becquerel* dans l'*Encyclopédie chimique* (Dunod, éditeur).

1° Dégagement de l'électricité dans les actions chimiques et, par conséquent, étude des piles électriques;

2° Décompositions et combinaisons chimiques produites par l'électricité : cette partie comprend, outre les actions chimiques des courants, celles des décharges électriques, en particulier la formation de l'*ozone*, dont la découverte remonte à *Van Marum*, mais qui ne fut sérieusement étudié que depuis *Schœnbein* (1840) et qu'on commence aujourd'hui à employer dans l'industrie comme agent d'oxydation. L'ozone s'obtient en soumettant l'oxygène pur à l'influence des étincelles, ou des décharges qui se font sous forme d'*aigrettes* entre des conducteurs entourés d'une substance isolante, et auxquelles on a donné le nom d'*effluves électriques*. L'exposition renferme plusieurs spécimens d'appareils pour la production des effluves;

3° Formation par voie électro-chimique de divers corps simples et composés. Signalons, dans la collection du *Conservatoire des Arts et Métiers*, l'appareil de *A.-C. Becquerel*, pour la formation électro-chimique des substances métalliques (1828), et son appareil électro-capillaire de 1866 (tube avec fissure); et, dans la *collection rétrospective italienne*, les essais d'*électro-métallochromie* de *Nobili* et de *Marianini*.

Nous verrons ultérieurement les applications industrielles de l'électro-chimie.

Les propriétés physiques du courant comprennent des phénomènes *mécaniques*, *calorifiques* et *lumineux*.

Le premier phénomène mécanique observé fut l'action du courant sur l'aiguille aimantée. Le physicien italien *Romagnosi* remarqua que l'aiguille aimantée était déviée par le courant, et publia son observation dans un *article sur le galvanisme*, inséré dans la *Gazette de Trente* du 3 août 1802. Cette observation fut reproduite dans l'*Essai*

théorique et expérimental sur le galvanisme qu'*Aldini* publia à Paris en 1804, et dans le *Manuel du galvanisme* qu'*Yzarn*, professeur à Paris, fit paraître en 1805. Les mémoires de Romagnosi et d'Aldini figurent dans la *Bibliographie italienne d'électricité et de magnétisme*, établie à l'occasion de l'Exposition actuelle par MM. *Rossetti* et *Canzoni* : ils figurent également, ainsi que le manuel d'Yzarn, dans le catalogue de la *bibliothèque* de *Ronalds*. Toutefois, l'attention du monde savant ne fut appelée sur ce point important que par la découverte d'*OErstedt* (1820). Le *Danemark* expose le buste d'OErstedt et la boussole qu'il employa dans ses expériences sur les phénomènes fondamentaux de l'électro-magnétisme. La même année, *Schweigger* inventait le *multiplicateur* devenu le *galvanomètre*, *Ampère* découvrait les lois de l'action des courants sur les courants (*électro-dynamique*) et *Arago* l'aimantation par le courant (*électro-magnétisme*). Le souvenir d'Ampère est rappelé par la *table d'Ampère* que conserve le *Collège de France* et par deux manuscrits originaux sur l'électro-dynamique légués par d'*Alméida* à la *Société française de physique*. Le *globe électro-magnétique de Nobili* (Italie) fait songer à l'hypothèse de l'origine électrique du magnétisme terrestre. On trouve à l'exposition des électro-aimants de toutes les tailles, depuis les grandes bobines magnétisantes pour la fabrication des aimants permanents jusqu'aux petits électro-aimants de la télégraphie et aux *rhéélectromètres* de *Marianini* (Italie) et de *Melsens* (Belgique) pour reconnaître le sens des décharges électriques (*Ann.* 1875, 1876). L'*université de Marburg* expose un électro-aimant d'une puissance remarquable construit par *Romershausen* en 1851.

A l'électro-magnétisme se rattache le *diamagnétisme*, découvert par *Faraday* en 1845. Il est représenté à

l'exposition de l'*observatoire de Bruxelles* par l'appareil que Faraday y envoya pour la répétition de ses expériences; à l'*Institution royale de la Grande-Bretagne*, par des tubes en verre construits par Faraday en 1850 pour reconnaître la nature magnétique ou diamagnétique des gaz, et à celle du *Conservatoire des arts et métiers* par l'appareil avec électro-aimant de M. *Ed. Becquerel* pour le magnétisme de l'oxygène.

En 1831, *Faraday* découvre l'*induction voltaïque* et l'*induction magnétique*, c'est-à-dire la production des courants induits par les courants et les aimants. La première a conduit *aux bobines d'induction*, la seconde aux *machines magnéto-électriques.* L'*Institution royale de la Grande-Bretagne* expose l'appareil original avec lequel Faraday obtint la première étincelle électro-magnétique (1831), celui qui lui servit à produire l'induction au moyen d'un aimant permanent (1831), les hélices et autres accessoires dont il se servit dans ses expériences sur l'induction, ainsi que le rectangle rotatif pour constater l'effet inducteur de la terre (1834). Le *Musée de Florence* expose aussi un appareil de *Nobili* à l'aide duquel aurait été obtenue la première étincelle. L'Américain *Henry* (1832) observe le phénomène de *quasi-inertie* de l'électricité (*extra-courant*), que Faraday explique, en 1834, par l'induction du fil sur lui-même; *Sturgeon* (1837) augmente l'effet des appareils d'induction en substituant un faisceau de fils de fer au barreau de fer doux; *Henry* (1841) étudie les courants induits de divers ordres; MM. *Masson* et *Bréguet* (1842) construisent la première *bobine d'induction :* elle est exposée par M. Bréguet. Vers 1850, *Ruhmkorff* perfectionne ces bobines, que M. *Fizeau* complète en 1853 par l'addition du condensateur.

De nombreuses variétés de petites bobines d'induction sont employées dans l'électro-physiologie et l'électrothérapie. Le plus connu des appareils d'excitation électrique pour les recherches physiologiques est l'*appareil à chariot*, ou, pour parler plus correctement, *à traineau* (car il n'a pas de roues) de Dubois-Reymond, exposé, entre autres, par l'*Institut physiologique de Berlin*. Parmi les grandes bobines pour la production de l'électricité à haute tension, citons, outre celle de *Ruhmkorff*, celles de *Siemens* (Allemagne) et celles de *Apps* (Angleterre). De ces dernières, la plus remarquable est la *grande bobine* de M. *Spottiswoode*, qui peut donner des étincelles de un mètre. Les curieux phénomènes de la décharge disruptive ont été étudiés par M. Spottiswoode avec des bobines d'induction ou des machines de Holtz, pendant que M. *de la Rue* opérait, de son côté, avec sa pile à chlorure d'argent et M. *Planté* avec ses couples secondaires. C'est aussi la bobine d'induction qui sert à M. *Crookes*, dans ses expériences sur la *matière radiante*. On voit, dans la section allemande, des collections de tubes de *Geissler*, de *Hittorff* et de *Crookes*.

La découverte de l'induction *magnéto-électrique* permet à Faraday d'expliquer le phénomène du *magnétisme de rotation*, découvert par *Arago* en 1824, étudié ensuite par *Babbage* et *Herschell*. La première forme de la *machine magnéto-électrique* (Faraday, 1831) donnait des courants induits par un électro-aimant dans un disque tournant. *Matteucci* détermina les lignes de niveau électrique sur ce disque avec un appareil exposé par l'*université de Pise*.

Le courant électrique échauffe les fils qu'il traverse, et si la température est très élevée, on obtient l'*éclairage* par l'*incandescence*. Les relations de l'électricité avec la

chaleur constituent la *thermo-électricité*, dont nous parlerons à propos des piles thermo-électriques.

La *lumière électrique* fut découverte en 1813 par *Davy* à l'aide de la pile colossale dont il disposait à l'*Institution royale*. La chaleur développée par l'*arc voltaïque* est telle qu'elle fond et volatilise la plupart des métaux : dans la section anglaise, M. *W. Siemens* répète sa curieuse expérience de la fusion d'un lingot d'acier dans une sorte de lampe électrique.

Les relations de l'électricité avec la lumière constituent l'*électo-optique*, science qui a fait récemment des progrès remarquables et qui ajoute tous les jours des faits nouveaux aux preuves que l'on possède déjà de l'identité d'origine des phénomènes électriques, magnétiques et lumineux. Le point de départ de cette science est la découverte par *Faraday* de l'action des aimants sur la lumière polarisée (1850). Des blocs de verre préparés par Faraday pour étudier cette action sont exposés par l'*Institution royale*.

A l'électro-optique on peut rattacher l'*actinomètre électro-chimique*, inventé par M. *Ed. Becquerel* en 1841, et les tubes *phosphorescents* éclairés par les décharges électriques, du même savant (collection du *Conservatoire des arts et métiers*).

Le courant électrique : sa mesure et ses lois.

Au multiplicateur de Schweigger succède le galvanomètre *à aiguilles astatiques*, dont le premier modèle, présenté par *Nobili* à la Société italienne en 1826, se trouve dans la collection du Musée de Florence ; l'Italie expose aussi quelques autres galvanomètres simples construits par Nobili, et un galvanomètre à fils croisés de *Marianini*.

En 1826, M. *Colladon* réussit à obtenir un galvano-

mètre qui dévie sous l'action des décharges de la bouteille de Leyde et de l'électricité atmosphérique. Son galvanomètre est exposé dans la section suisse, en même temps qu'un appareil d'électro-dynamique dont se servirent en 1827 Ampère et Colladon. Les études de Nobili sur les moyens de sensibiliser les galvanomètres ont été poursuivies plus tard par M. ***Dubois-Reymond***, dont le ***galvanomètre physiologique*** décèle les plus faibles courants musculaires. ***Becquerel***, de son côté, invente le ***galvanomètre différentiel*** et publie, dès 1826, une table des conductibilités. Peltier, Becquerel, Nobili, Melloni, Poggendorff se préoccupent de rendre les galvanomètres comparables; mais leurs procédés ont été abandonnés depuis l'invention de la ***boussole des sinus*** (1824) par ***de la Rive*** et ***Pouillet***, et celle de la ***boussole des tangentes*** par Pouillet (1828). Le ***Conservatoire des arts et métiers*** a, dans sa vitrine, une boussole des sinus et une boussole des tangentes de Pouillet, construites par ***Brunner; Gaugain*** perfectionne la boussole des tangentes par son multiplicateur conique; ***Weber*** invente le galvanomètre à suspension bifilaire, avec lunette et miroir, et ***amortit*** les oscillations par les courants que l'aimant en mouvement induit dans une masse de cuivre rouge. Comme appareils rétrospectifs de mesure, citons encore le ***galvanomètre à torsion*** de ***Ritchie*** dans la collection de l'***Université de Louvain***, la ***balance électro-magnétique*** de ***Ed. Becquerel*** dans celle du ***Conservatoire des Arts et métiers***, l'***électro-dynamomètre de Weber*** (1846) exposé par l'***Université de Göttingue***, les instruments de ***Kohlrausch*** et ceux de ***Wiedemann*** dans la section allemande.

(***A suivre.***) R.

LA TÉLÉGRAPHIE MILITAIRE.

Pour les correspondances télégraphiques aux armées, on a dû créer un matériel qui, d'une part, offrît toute la solidité désirable et, d'autre part, fût peu encombrant, d'un transport facile et se prêtât à une installation rapide des lignes et des postes. Ce matériel est chargé sur des voitures spéciales aménagées en conséquence.

L'appareil Morse a été universellement adopté, c'est le plus simple et le plus portatif; les signaux sont, à l'arrivée, ou perçus au son, ou imprimés sur une bande de papier. On emploie aussi le téléphone pour les communications à petite distance.

Les piles sont construites et disposées de telle façon que, sous un petit volume, elles aient néanmoins une force et une durée suffisantes et qu'en outre, elles ne soient pas susceptibles de se détériorer dans les transports.

On se sert, pour l'établissement des communications, soit de fils recouverts qu'on attache aux arbres ou aux maisons, qu'on enfouit en terre, ou même qu'on déroule simplement sur le sol, soit de fils nus, en fer ou en cuivre, de faible diamètre, qu'on suspend à des poteaux légers.

La France, l'Amérique, l'Autriche, la Belgique et la Suède ont envoyé à l'exposition des spécimens des voi-ures et du matériel en usage dans ces pays.

Ministère de la guerre (France). — La France a exposé une voiture-poste, un chariot et une dérouleuse.

La voiture-poste, montée sur quatre roues, est divisée en deux compartiments. A l'avant, est un coupé ouvert avec siège pour trois personnes; à l'arrière se trouve une table de manipulation installée pour deux postes à deux fils chacun, avec une banquette en face et, vers l'avant, des placards pour serrer les divers appareils et outils.

Cette voiture contient deux appareils Morse portatifs, deux parleurs, deux sonneries, deux téléphones Siemens, trois piles, une caisse à eau, un kilomètre de câble léger sur deux bobines, tous les outils, menus objets et imprimés néçessaires pour l'installation et l'exploitation d'un poste, ainsi qu'un appareil optique de campagne qui ne figurait pas à l'exposition.

L'appareil Morse, qu'on renferme pour les transports dans une boîte spéciale de faible volume, comporte, moins la pile et la sonnerie, tout ce qui entre dans la composition d'un poste, récepteur, manipulateur, galvanomètre, paratonnerre, rouet, commutateurs, etc.

Le parleur, dont les parois latérales sont en tôle, comprend un électro-aimant boîteux avec son armature et un manipulateur superposés et montés sur plaques en ébonite. Un commutateur permet de correspondre dans les conditions ordinaires ou de faire passer le courant par l'armature et la borne de repos; dans ce cas la palette vibre pendant toute la durée de chaque signal et produit ainsi un ronflement qui facilite la lecture au son (système Gras).

La pile contient douze éléments Leclanché renfermés dans une boîte compartimentée; les vases extérieurs sont en ébonite et garnis d'éponges pour empêcher le liquide de se répandre.

Le câble léger se compose d'un toron de trois fils de 1/10 de millimètre de diamètre, dont deux en fer et un en cuivre recouverts d'un guipage de coton imprégné d'un isolant spécial et d'une tresse goudronnée; son diamètre total est de 2^{mm},7 et sa résistance à la traction d'environ 40 kilogrammes.

Le chariot, qu'on attelle à quatre chevaux, est une voiture à hautes ridelles avec siège sur le devant pour trois personnes et portière à l'arrière. Il porte, sous le siège, une cantine renfermant un appareil Morse et une pile à l'intérieur, sept bobines en tôle contenant chacune un kilomètre de câble de campagne, une bobine de deux kilomètres de fil de fer de 2 millimètres de diamètre, une brouette pour le déroulement du câble dans les endroits inaccessibles au chariot, une caisse à eau, quatre coffres renfermant des isolateurs en ébonite, des crochets pour poser le câble aux murailles ou aux arbres, une pile et un parleur pour les essais de ligne, ainsi que tous les instruments et outils nécessaires pour le raccordement des câbles, la pose ou la réparation des lignes; enfin le long des ridelles sont accrochées six perches triples, dix-huit perches doubles, des échelles, lances à fourche, piquets de terre et divers outils de plantation et de terrassement.

Le câble de campagne est formé de sept brins de fil de cuivre de 0^{mm},4 tordus ensemble et recouverts de gutta-percha, puis d'un ruban caoutchouté et d'une enveloppe en filin tressé enduite de goudron. Son diamètre total est de 5 millimètres; il pèse 28 kilogrammes le kilomètre et résiste à une traction de 80 kilogrammes.

Le déroulement et l'enroulement du câble se font à la main, en marchant; à cet effet, deux ferrures fixées à l'arrière du chariot reçoivent un axe qu'on engage dans les bobines.

Les perches sont formées de tubes en fer creux de 2^{m},25 à 2^{m},40 de long avec pointe aciérée, entrant l'un dans l'autre et munis de vis à pression; le tube supérieur est armé d'une tige destinée à recevoir l'isolateur. Les perches doubles donnent une hauteur de quatre mètres avec un diamètre de 0^{m},032 à la partie inférieure et pèsent 6 kilogrammes; les perches triples ont une hauteur de 6 mètres avec un diamètre de 0^{m},04 et pèsent 12 kilogrammes.

Parmi les divers outils et instruments en usage, il y a lieu de citer : le perforateur, cylindre en fer de 0^{m},90 de long sur 0^{m},04 de diamètre avec pointe et tête aciérées, qu'on enfonce à coup de masse en terre pour faire les trous destinés à recevoir les perches, et le commutateur de ligne, qui se compose de deux mâchoires avec barres fixées aux extrémités d'une plaque isolante, et qui permet de couper un fil sans modifier le réglage et sans se servir de moufles.

La dérouleuse est une voiture montée sur deux roues avec siège à l'avant et appareil de déroulement à l'arrière; elle est employée pour les constructions dans les chemins de traverse ou sur des routes étroites occupées par des colonnes en marche.

Cette voiture contient sept bobines garnies de câble et trois vides, une pile, un parleur, une caisse à eau et des outils de plantation et de terrassement; elle peut aussi recevoir quatre perches doubles sur des ferrures disposées à cet effet.

En outre des voitures décrites ci-dessus, le Ministère de la Guerre a exposé un appareil télescopique pour télégraphie optique, du système Mangin. La source lumineuse de cet appareil est une lampe électrique alimentée par une machine Gramme que font tourner deux hommes, et dont la force est d'environ dix éléments Bunsen.

Signal-office (*Amérique*). — Les États-Unis d'Amérique ont envoyé une voiture-poste, une voiture à fils et un chariot pour poteaux.

La voiture-poste est une sorte de tapissière montée sur quatre roues et garnie de rideaux avec siège à l'avant. Dans l'intérieur se trouvent quatre tablettes et des pliants. Sur chaque tablette est un parleur avec manipulateur sans autre appareil, les télégrammes étant toujours reçus au son.

La pile est au sulfate de cuivre. Chaque élément se compose d'un vase de plomb au fond duquel on met des cristaux de sulfate de cuivre que l'on recouvre d'une éponge, puis des copeaux de sapin; sur ces copeaux, on place un disque de zinc muni d'une tige, le vase est ensuite rempli d'eau et de copeaux. Une petite planchette fixée à chaque paroi du vase empêche tout contact entre celui-ci et le disque de zinc.

La voiture à fils est semblable à la voiture-poste et ne contient que du fil nu de 0^{m},003 en couronnes. Dans l'intérieur se trouve, à l'avant, une tablette sur laquelle on peut installer un parleur, et, à l'arrière, un système très bien combiné pour l'enroulement automatique des fils. Ce système consiste en un plateau horizontal sur lequel se trouve un dévidoir et que font mouvoir deux frotteurs cylindriques, dont le mouvement est commandé par une des roues; on peut à volonté rapprocher ou éloigner les frotteurs de l'axe du plateau et, par suite, accélérer ou ralentir la vitesse d'enroulement.

Le chariot est une longue prolonge traînée par quatre chevaux. Il renferme environ trois cents perches de sapin, des isolateurs et des outils de plantation et de pose de fils.

Les perches ont 5^{m},50 de long et pèsent de 4 à 5 kilo-

grammes; elles sont armées au sommet d'une ferrure percée d'un trou vertical dans lequel on visse la tige d'un isolateur et d'un trou horizontal qui peut recevoir une patte en fer munie également d'un isolateur.

Les isolateurs sont en ébonite; ils sont surmontés d'un double crochet dans lequel on introduit le fil, qui se trouve ainsi arrêté.

Ministère de la guerre (Autriche). — L'exposition autrichienne comprend une voiture-poste et un chariot.

La voiture-poste, montée sur quatre roues, est très légère. Elle renferme, à l'intérieur, une banquette avec tablette en face pour l'installation d'un poste et des casiers destinés à recevoir les divers appareils, instruments, outils et imprimés nécessaires. Sous le siège, à l'avant, est un coffre pour les bagages.

Cette voiture porte deux appareils Morse à pointe sèche et à relais renfermés dans des boîtes à deux compartiments qui contiennent, en outre, divers accessoires, outils et objets de rechange; un parleur avec manipulateur, petite boussole et manette pour la transmission à courant continu, monté sur plaque en ébonite et renfermé dans une gaine en cuir; un galvanomètre dans un écrin et deux piles; il existe, en outre, sous la table de manipulation une bobine de câble léger qui peut, sans être déplacée, être enroulée ou déroulée par une ouverture pratiquée à l'arrière de la voiture. Aucune communication électrique n'est à demeure; deux fils seulement sont reliés à des bornes serre-fils placées au dehors sur des isolateurs et auxquelles aboutissent les fils de ligne.

Les piles, renfermées dans des boîtes spéciales, sont formées de dix petits éléments Marié-Davy, composés chacun d'un vase en ébonite divisé en deux comparti-

ments par une plaque poreuse; d'un côté, se trouve le sulfate de mercure, de l'autre, de la sciure de bois imbibée d'eau ; le vase est fermé hermétiquement au moyen d'une rondelle en ébonite garnie de caoutchouc qui porte une plaque de charbon plongeant dans la pâte de sulfate de mercure et un bâton de zinc enfoncé dans la sciure de bois mouillée.

Le chariot est divisé sur sa hauteur en trois parties. Dans la partie supérieure se trouvent, à l'avant et à l'arrière, des sièges pour trois hommes avec coffres contenant les bagages et divers outils de pose de fils; entre les sièges sont quatre bobines de câble de 500 mètres chacune. Le compartiment du milieu renferme soixante-dix perches en bambou armées d'isolateurs en ébonite. Dans la partie inférieure sont placés des échelles, lances à fourches, outils de plantation, etc., et, vers l'avant, quatre bobines portant chacune un kilomètre de fil de cuivre nu d'un millimètre de diamètre. Enfin, le long des parois sont accrochés le corps et les roues d'une brouette.

Les perches ont $3^{m},40$ de hauteur sur 4 à 5 centimètres de diamètre et pèsent de 1 à 2 kilogrammes; on peut les accoupler pour obtenir plus de longueur au moyen de deux colliers doubles en fer avec vis de serrage.

Le câble est formé d'un toron de sept brins de cuivre étamé de 5/10 de millimètre recouvert de caoutchouc, puis d'une toile goudronnée et d'une enveloppe extérieure en filin également goudronnée; son diamètre total est de $6^{mm},5$. Le déroulement et l'enroulement du câble se font sur la voiture sans déplacer les bobines : on se sert toujours de la brouette pour le déroulement du fil nu.

Compagnie des télégraphistes de campagne (*Belgique*). — La Belgique a envoyé une voiture-poste, une dérouleuse et un télégraphe d'avant-poste.

La voiture-poste, qu'on attelle à six chevaux, est divisée en deux compartiments, avec porte de communication. Dans le coupé, à l'avant, sont installés deux postes complets pouvant desservir chacun deux lignes. L'arrière contient six bobines d'un kilomètre de câble, des piquets de terre en fer creux, divers outils, des torches, fusées, fanions et éventails argentés pour la télégraphie optique; près de la portière se trouvent deux montants en fer entaillés d'encoches dans lesquelles on introduit les axes des bobines pour l'enroulement et le déroulement, qui se font en se tenant dans la voiture.

La dérouleuse est une sorte de camion portant trois bobines de câble de 500 mètres, une pile, un appareil, un tonnelet d'eau et quelques outils. En route, ce véhicule, après avoir été démonté, est attaché sous la voiture-poste, et les bobines sont placées dans un coffre qui est sous le siège du conducteur.

L'appareil est semblable à celui employé en France.

La pile se compose de dix éléments Leclanché, fermés hermétiquement par une plaque enduite de résine. Elle est renfermée dans une boîte dont le couvercle est matelassé à l'intérieur pour empêcher les éléments de remuer.

Le câble de ligne se compose de six brins de fil de fer et d'un brin de fil de cuivre étamé de 6/10 de millimètre tordus ensemble et recouverts, comme le câble autrichien, de caoutchouc, ruban et tresse goudronnée. Il résiste à une traction de 240 kilogrammes; son poids est de 70 kilogrammes le kilomètre; la bobine qui le porte pèse 10 kilogrammes.

Pour relier les câbles entre eux, on fait usage d'un joint spécial formé de deux tiges en laiton taillées en biseau, avec tenon et mortaise s'emboîtant l'un dans

l'autre, et soudées chacune à l'extrémité de chaque câble; ce joint est consolidé à l'aide de deux viroles à rainure qui s'engagent dans les tenons et est recouvert d'une gaine de caoutchouc.

Le télégraphe d'avant-poste, construit par la maison Siemens et Halsk, de Berlin, comprend :

Quatre havresacs, système Busholtz, portant chacun une bobine de câble léger et pesant 7k,500;

Deux appareils portatifs spéciaux;

Deux piles de 12 éléments chacune;

Deux téléphones Siemens.

L'appareil, renfermé dans une boîte de très petit volume, est à déclenchement automatique avec timbre avertisseur et ne fonctionne qu'en courant continu.

Le câble est composé d'un fil central en cuivre recouvert de gutta-percha, puis d'une toile entourée de sept petits fils de cuivre formant conducteur de retour et enfin d'une tresse goudronnée. Une ferrure spéciale adaptée à l'extrémité des câbles ainsi qu'aux appareils et aux téléphones permet d'établir d'un seul coup les communications des deux fils, aller et retour. La pile est une pile Daniell modifiée pour être facilement transportable ; les vases extérieurs sont en ébonite et renferment de la sciure de bois imbibée d'eau; les vases poreux sont terminés chacun par un tube en ébonite fermé par des bouchons en caoutchouc. Quand la boîte est fermée, le couvercle s'appuie sur les bouchons et empêche la dissolution de sulfate de cuivre de se répandre.

Le matériel de télégraphie militaire belge comprend, en outre, une voiture de fils et un chariot de poteaux qui ne figuraient pas à l'exposition. Ces voitures, qu'on attelle à six chevaux, renferment : l'une, 24 kilomètres de fil de cuivre nu de 2 millimètres sur huit bobines avec une

brouette pour le déroulement semblable à celle qui est employée en France; l'autre, deux cents perches en sapin de 5 mètres de long armées d'isolateurs en ébonite et pesant en moyenne 9 kilogrammes chacune.

Génie militaire (*Suède*). — La Suède n'a exposé qu'un poste installé sous une tente et un chariot de fil.

L'appareil, construit avec beaucoup de soin, se rapproche des appareils français et belges ; il comporte, en outre, une sonnerie et un commutateur à chevilles pour quatre directions fixé sur une des parois latérales de la boîte. La pile se compose de dix éléments Leclanché à vase en verre et aggloméré de charbon et de bioxyde de manganèse. Les vases sont fermés par une plaque en ébonite enduite de poix et d'asphalte et percée d'un trou fermé par un bouchon en caoutchouc. Un petit matelas en feutre fixé au couvercle de la boîte appuie sur les vases et les empêche de remuer.

Sous la tente, on voyait aussi un gros téléphone Siemens, monté sur trépied à hauteur d'homme, servant à la transmission, et un autre plus petit, qu'on place à l'oreille pour la réception.

L'ameublement du poste se compose de pliants, d'une table de manipulation et d'une table-bureau pouvant se démonter et formant ainsi un très petit volume.

Le chariot destiné au transport et au déroulement des fils comprend un avant-train et un arrière-train qui peuvent au besoin être séparés. Cette voiture est à frein automatique fonctionnant quand les chevaux retiennent.

L'avant-train se compose de coffres renfermant des isolateurs et tout l'outillage de plantation et de pose des fils. A l'arrière-train sont disposés, parallèlement à l'essieu, 4 rouleaux de fil nu de 2 kilomètres chacun et 3 rouleaux de câble de 1 kilomètre.

L'enroulement se fait automatiquement; à cet effet, une tige fixée à l'extrémité de l'axe du rouleau est munie d'un cylindre en fer garni de caoutchouc qui frotte sur la roue gauche et tourne avec elle; un levier tenu à la main permet de modifier la force de frottement.

Le câble est formé d'un toron de trois fils de cuivre étamé d'un millimètre de diamètre, isolé par deux couches de caoutchouc et recouvert extérieurement d'un ruban de feutre. Son diamètre total est de 5^{mm},5 et son poids de 40 kilogrammes le kilomètre. Le fil nu se compose de quatre brins de fer galvanisé d'un millimètre tordus ensemble; il est très flexible et très solide en même temps. La Suède possède aussi une voiture-poste et un chariot pour poteaux qui n'ont pas été exposés.

La voiture-poste renferme tout le matériel et l'ameublement nécessaires pour l'installation de deux postes complets ainsi qu'une tente.

Le chariot contient cent cinquante perches en sapin de 3^{m},60 de long; chacune d'elles est armée d'une tige en fer sur laquelle on visse un isolateur en ébonite; leur poids est d'environ 3 kilogrammes. Pour les traversées de routes, on se sert d'allonges qu'on accouple avec les perches à l'aide d'un collier double avec vis de pression et d'un second collier muni d'un anneau qui s'engage dans la tige de la perche. Le poids de la perche ainsi rallongée est de 4^{k},500 et sa hauteur de 5 mètres.

Expositions particulières. — Les expositions particuculières renfermaient certains appareils ou intruments construits en vue de la télégraphie militaire ou pouvant y trouver leur application.

M. Trouvé (France) a exposé diverses piles de très petit volume au sulfate de mercure et à papier, ainsi qu'un télégraphe d'avant-poste contenu dans un havre-

sac et se composant d'un kilomètre de câble à deux conducteurs, d'une pile, et enfin d'un parleur de très petite dimension, de dimension comparable à celle d'une grosse montre.

M. Mangenot (France) a également présenté un télégraphe d'avant-poste très ingénieux.

Le câble est à deux conducteurs, formés chacun d'un toron de deux fils de cuivre et d'un fil d'acier de 3/10 de millimètre, recouvert de coton paraffiné, et réunis ensemble par une enveloppe enduite de brai ; il pèse 3 kilogrammes le kilomètre et est enroulé sur une bobine de $0^{m},20$ de long.

L'appareil est un téléphone pouvant servir comme avertisseur, parleur ou téléphone ordinaire ; en outre, un récepteur d'une grande sensibilité permet d'enregistrer les signaux sur une bande par décomposition chimique.

M. Mangenot emploie, comme générateur d'électricité, soit une pile au chlorure de plomb de six éléments renfermée avec une bobine Ruhmkorff dans une giberne portant à l'extérieur un manipulateur, soit une petite machine électro-magnétique qu'on tourne d'une main en manipulant de l'autre. Les courants d'induction produisent sur le téléphone, pendant la durée de chaque signal, un ronflement perceptible à une assez grande distance.

Un poste complet avec 4 kilomètres de câble peut être porté par un seul homme.

Le système de télégraphie exposé par MM. le colonel Racagny et Guglielmini (Italie) ressemble beaucoup à celui de M. Mangenot. Le câble est le même. La bobine Ruhmkorff est placée dans la poignée du téléphone, qui est en outre munie d'un manipulateur. La pile se compose de six éléments Trouvé au sulfate de mercure ren-

fermés dans une petite boîte qu'on retourne quand on veut travailler, afin que la dissolution de sulfate tombe dans la partie du vase où se trouve le bâton de zinc. Ce système comporte aussi un récepteur électro-chimique pour l'enregistrement des signaux.

Le télégraphe d'avant-poste de MM. Siemens et Halske (Allemagne) est à peu près semblable à celui de la Belgique, qu'ils ont d'ailleurs construit. Le câble, dont le conducteur central est formé de sept fils de cuivre, est beaucoup plus gros; l'appareil est un peu plus volumineux et également à déclenchement automatique; il peut, à l'aide d'un commutateur, être installé en courant continu ou en courant intermittent.

Citons encore parmi les expositions qui se rapportent plus ou moins directement à la télégraphie militaire : les piles Leclanché à aggloméré de M. Barbier; la pile au chlorure d'argent de M. Gaiffe; le poste Morse portatif à encrage automatique et réglage à noyau mobile de MM. Rault et Chassan; le parleur de M. Charles, simple bobine dont la partie centrale contient le fer doux et l'armature; celui de M. Gras qui fonctionne par un jeu de trembleur et que nous avons déjà indiqué; des appareils de poche, pouvant servir aux intermédiaires et aux têtes de ligne, de MM. Echenique, Perez, Blancas et Piedras y Macho, fonctionnaires de l'administration espagnole; des appareils portatifs que l'on trouvait dans les expositions de presque tous les constructeurs; un modèle de charrue avec bobine de câble de M. Bourdin pour l'établissement de lignes souterraines, le câble se déroule dans la tranchée qui est ouverte par le soc de la charrue et refermée ensuite par un rouleau; enfin on voyait aussi dans la section allemande un modèle de charrue de M. Tribout destinée spécialement à la pose des câbles militaires.

NOTE

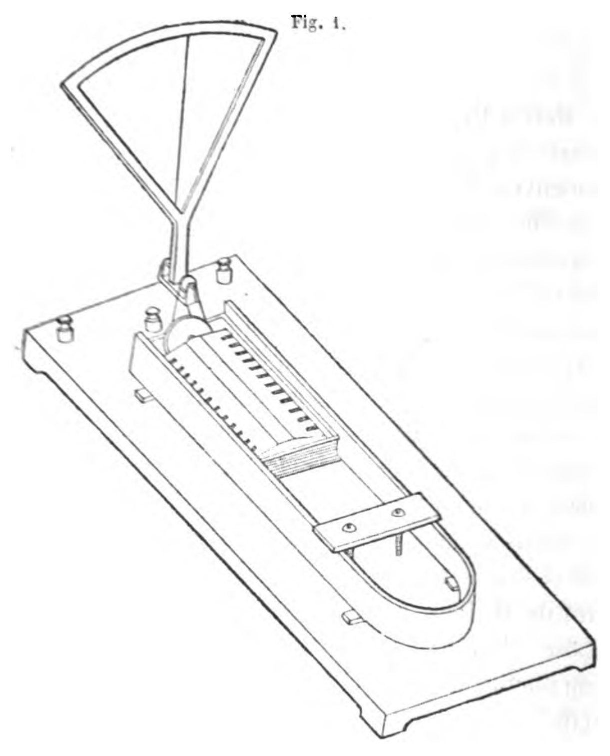
SUR LES

GALVANOMÈTRES DE M. MARCEL DEPREZ.

M. Marcel Deprez a décrit, dans la *Lumière électrique*, une série de galvanomètres de son invention, dont quatre seulement ont été construits jusqu'ici. Deux types de ces instruments, sortant des ateliers de l'habile constructeur M. Carpentier, ont été acquis par le Ministère des postes et des télégraphes. Ces deux modèles, qui présentent un certain intérêt au point de vue télégraphique, ont été soumis de la part de M. Perrin, attaché au laboratoire de l'École supérieure de télégraphie, à une série d'expériences comparatives avec d'autres galvanomètres, tels que boussole des sinus et galvanomètre des tangentes de Silvertown. Avant d'entrer dans le détail de ces expériences, nous allons donner une description rapide des instruments ci-dessus mentionnés. Le premier des galvanomètres de M. Deprez est celui à arête de poisson. Il se compose d'un aimant permanent horizontal, dont le champ magnétique peut être considéré comme invariable, ainsi qu'il résulte des expériences faites par l'auteur lui-même. A l'intérieur de cet aimant, du côté des pôles, est disposé un cadre galvanométrique rectangulaire, au milieu duquel peut se mouvoir une aiguille en fer doux d'une forme particulière, à laquelle M. Deprez a donné le nom d'arête de poisson. La *fig.* 1 en fait assez comprendre la forme sans qu'il soit nécessaire d'insister davantage. Cette aiguille est mobile sur deux couteaux et porte à son extrémité antérieure une roue en cuivre qui fait corps avec elle, et dont l'axe coïncide avec celui de l'aiguille;

cette roue présente une gorge où s'engage un fil très ténu qui transmet le mouvement de l'arête à une aiguille mobile sur un cadre vertical. Le cadre est à deux circuits,

Fig. 1.

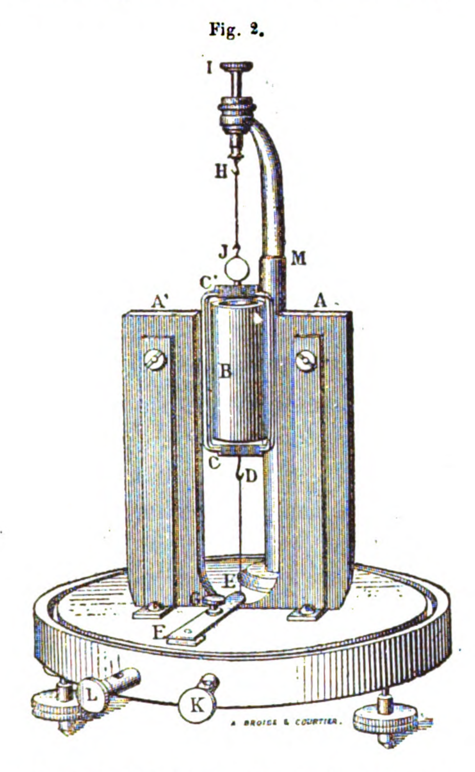


dont l'un, correspondant aux bornes extrêmes, a une résistance d'environ 190 ohms et peut servir à mesurer les forces électromotrices; l'autre, dont les extrémités aboutissent aux bornes du milieu, n'a qu'une résistance de 0,02 ohm.

L'autre galvanomètre est une des formes du galvanomètre apériodique de MM. Deprez et d'Arsonval. — Il se compose d'un aimant vertical en fer à cheval, entre les

pôles duquel peut se mouvoir un cadre rectangulaire formé d'un fil excessivement fin ; ce cadre est maintenu par deux fils d'argent très ténus, dont le supérieur est

Fig. 2.



attaché à l'extrémité d'une tige qui peut recevoir deux mouvements indépendants, l'un de rotation et l'autre de translation verticale ; le fil inférieur est fixé à l'extrémité d'une tige élastique en cuivre dont la tension est réglée par une vis. Les deux fils ont une triple fonction : ils servent, lorsqu'ils sont tendus, à maintenir le cadre dans une position invariable ; ils servent à amener le courant dans le cadre, et enfin, le couple de torsion de ces fils produit

par un déplacement angulaire du cadre sert à mesurer l'action réciproque de l'aimant et du cadre lorsque celui-ci est parcouru par un courant. Le procédé optique habituel est ici appliqué pour mesurer avec une grande précision les déplacements du cadre. C'est à cette fin qu'on a adapté un petit miroir sur cet organe. Intérieurement au cadre, on a placé un anneau en fer doux destiné à augmenter l'action inductive.

Les courants d'induction produits dans le cadre lorsqu'on le déplace de sa position d'équilibre amortissent immédiatement les vibrations de cet organe. Il est bien évident que pour constater cet effet, il faut réunir les deux bornes de l'instrument.

Le galvanomètre de Silvertown est excessivement simple. Il se compose d'un cadre vertical de forme circulaire contenant deux circuits qui se réunissent à la borne du milieu ; l'un de ces circuits a une résistance 100 fois plus grande que l'autre. Une aiguille horizontale se meut sur un pivot d'agate et peut parcourir un cadre qui porte deux graduations. La graduation antérieure va de zéro à 100 ; les divisions ont été calculées de façon que *la tangente* du déplacement de l'aiguille mesure l'intensité du courant. C'est ce qui explique pourquoi les divisions sont beaucoup plus rapprochées aux extrémités qu'au milieu. La graduation postérieure est une demi-circonférence divisée en degrés ordinaires. Avant de se servir de l'instrument, il faut l'orienter, c'est-à-dire amener l'aiguille au zéro. Un miroir percé dans le disque horizontal permet d'observer avec beaucoup d'approximation la division où l'aiguille s'est arrêtée. Il suffit pour cela de placer l'œil de façon que l'image de l'aiguille coïncide avec elle-même.

Voici les résultats des essais comparatifs auxquels il est fait allusion plus haut :

1° *Instruments dont l'indicateur est une aiguille.*

DÉSIGNATION des instruments.		RÉSISTANCE du cadre en ohms.	INTENSITÉ EN MILLIAMPÈRES DU COURANT qui donne au galvanomètre							
			1°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°
Galvanomètre des tangentes de Silvertown.	Gros fil.	0,35	4,99	49,940	137,000	225,00	350,70	496,33	737,35	1840,00
	Fil fin.	303,70	0,05	0,523	0,952	1,57	2,38	3,60	5,84	9,81
Galvanomètre ordinaire de poste.		2,15	0,16	1,620	4,610	11,54	21,43	38,70	67,20	128,00
Boussole des sinus à 12 tours de fils. . . .		0,145	0,92	9,200	17,500	25,50	32,50	37,52	42,20	46,37

2° *Instruments à miroir.*

DÉSIGNATION des instruments.	RÉSISTANCE du cadre en ohms.	CONSTANTE de l'instrument en divisions de l'échelle située à 1 m. du miroir.	DURÉE de l'extinction des oscillations.	OBSERVATIONS.
Galvanomètre différentiel de Thomson.	10.000	1.090	24″	L'aimant directeur étant placé au sommet de la tige.
Galvanomètre différentiel de Thomson.	3.600	2.000	32″	*Idem.*
Galvanomètre apériodique de MM. Deprez et d'Arsonval.	141,8	3	0″,5	Avec la tension minimum du fil de torsion.

Ce dernier tableau montre que les deux types d'instruments comparés conviennent à des usages différents. Les galvanomètres de Thomson sont sensibles, mais très lents à se fixer. L'instrument de MM. Deprez et d'Arsonval permet, au contraire, de suivre un phénomène dont la vitesse de variation est égale ou supérieure à une demi-seconde. Par contre, à cause de la rapidité de ses indica-

tions, il ne peut servir à la mesure des courants instantanés.

La même conclusion s'applique dans une autre mesure au galvanomètre dit « à arête de poisson ». Cet instrument n'a fait l'objet d'aucune expérience comparative; la valeur de ses déviations en unités absolues est d'ailleurs indiquée par le constructeur. Destiné surtout à la mesure des courants intenses et des forces électromotrices considérables, il rend des services appréciés dans les applications industrielles de l'électricité. Cependant, il n'est pas déplacé dans un laboratoire, où ce qui intéresse plus spécialement la télégraphie est considéré davantage; il permet, par exemple, de suivre commodément la variation des constantes d'une pile en essai, pourvu que sa résistance intérieure ne soit pas trop considérable par rapport à celle du galvanomètre, ou que l'on ait soin de faire la mesure avec des groupes convenables d'éléments.

NOTE

SUR LE

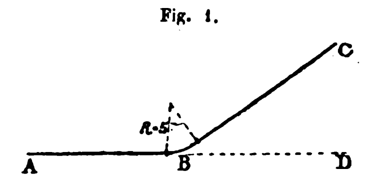
TRACÉ D'UNE SECTION DE LIGNE TÉLÉGRAPHIQUE

SOUTERRAINE EN CONDUITE.

Dans le tracé d'une ligne télégraphique en conduite, soit sur route, soit dans une traversée de ville, il est indispensable d'adopter une certaine méthode, tant pour simplifier le relevé de la ligne que pour faciliter le tirage des câbles. Les sections de conduite en ligne droite ne présentant aucune difficulté au point de vue du tracé, nous ne nous occuperons ici que du tracé des parties courbes. Nous aurons à traiter différents problèmes, correspondant aux différents cas qui peuvent se présenter sur le terrain :

1° Lorsque, par exemple, la direction AB de la ligne vient à changer en même temps que celle de la route suivie, l'angle CBD dont elle dévie peut être franchi,

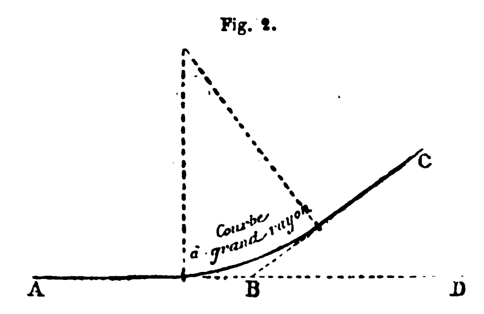
Fig. 1.



suivant les cas, à l'aide de tuyaux courbes spéciaux de 5 mètres de rayon (*fig.* 1 en plan), ou à l'aide d'une

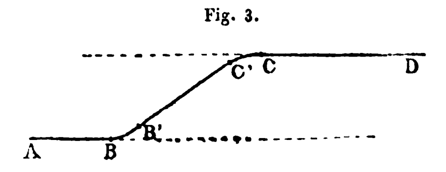
courbe à grand rayon obtenue avec des tuyaux droits par une simple flexion exercée sur les joints (*fig.* 2).

Fig. 2.



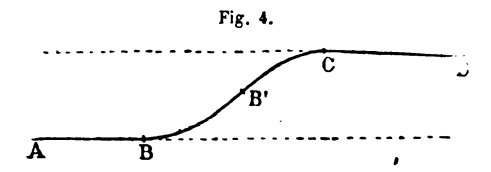
2° Si, la route restant droite, on passe d'un alignement droit AB à un autre alignement droit CD parallèle ou non au premier, on peut encore faire cette opération soit à l'aide de tuyaux courbes BB', CC', reliés par un alignement droit intermédiaire B'C' comme l'indique la *fig.* 3,

Fig. 3.



soit à l'aide de courbes à grand rayon BB', B'C, à courbures opposées comme l'indique la *fig.* 4.

Fig. 4.

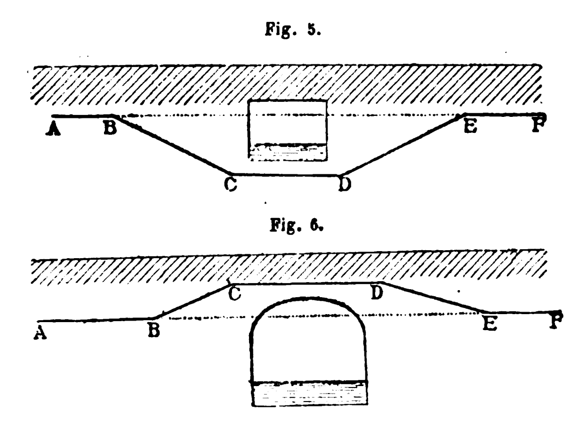


Enfin, si la conduite passe au-dessus ou au-dessous d'un obstacle quelconque, tel qu'un égout, un aqueduc,

un ponceau (*fig.* 5 et 6 en coupe), le problème à résoudre est le même que celui de la *fig.* 3 : il s'agit, en

Fig. 5.

Fig. 6.



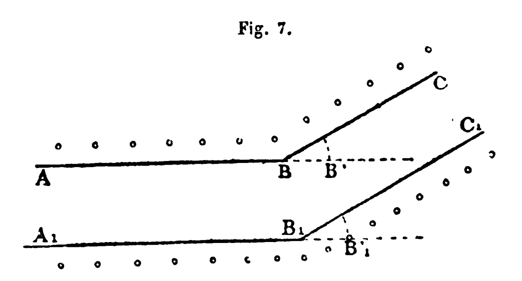
effet, de passer d'alignements droits à d'autres alignements droits parallèles (de AB à CD et de CD à EF).

Nous allons traiter tous ces problèmes successivement et dans l'ordre indiqué ci-dessus.

§ 1.

Supposons qu'avant d'arriver à un tournant de la route, la ligne suive l'alignement droit AB, et qu'après ce tournant, elle doive suivre l'alignement BC (*fig.* 7). On

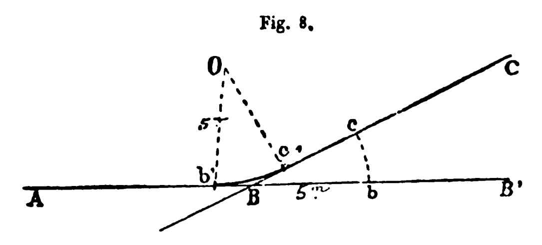
Fig. 7.



pourra raccorder ces deux alignements, ainsi que nous l'avons dit, soit à l'aide de tuyaux courbes, soit à l'aide d'une courbe à grand rayon. On écartera celle de ces deux solutions qui rejetterait trop la ligne sur la chaussée, sur les fossés ou sur les rangées d'arbres, et on adoptera celle qui donnera un tracé parallèle autant que possible au tracé même de la route.

Quelle que soit la solution que l'on choisisse, avant de procéder au tracé, on commencera par mesurer l'angle des deux alignements à raccorder. A cet effet, sur l'alignement BC et sur le prolongement BB′ de l'alignement AB (*fig.* 8), on portera des longueurs B*b* et B*c* égales à 5 mè-

Fig. 8.



tres, et l'on tracera de B comme centre avec un rayon de 5 mètres l'arc de cercle *bc*. Soit *a* la longueur de cet arc exprimée en mètres. La circonférence de 5 mètres de rayon ayant une longueur égale à $2\pi \times 5 = 31^{m},416$, l'arc de 1 mètre sur cette circonférence correspond à un angle au centre égal à $\frac{360}{31.416} = 11°,46$ ou $11°27'$, et l'angle CBB′ qui correspond à l'arc *a* est égal à $A = a \times 11°,46$. L'arc *a* pouvant parfaitement se mesurer sur le terrain à $0^{m},005$ près, on aura l'angle CBB′ dont tourne la ligne à $0,005 \times 11°46 = 3',5$ près.

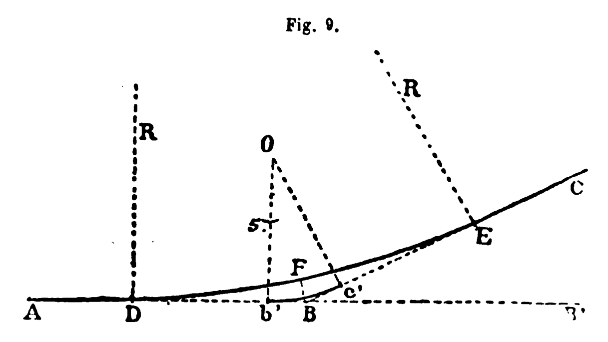
Cette méthode présente l'avantage que, si l'on veut franchir le tournant ABC à l'aide de tuyaux courbes, la longueur *b′c′* de tuyaux courbes à employer à cet effet

est précisément égale à la longueur mesurée a. En effet, si l'on mène en b' et c' respectivement les perpendiculaires $b'O$, $c'O$ aux alignements AB et BC, $b'O$ et $c'O$ sont des rayons de la circonférence dont fait partie $b'c'$ et ont, par suite, une longueur de 5 mètres. D'autre part, l'angle $b'Oc'$ étant égal à l'angle CBB', les secteurs de cercles $b'Oc'$ et bBc sont égaux; par suite, les arcs bc et $b'c'$ le sont aussi. On n'aura donc, pour franchir le tournant ABC, qu'à couper des tuyaux courbes à la longueur mesurée a et à les placer au sommet de l'angle, dans la position indiquée par la *fig.* 8.

§ 2.

Si, au lieu de tuyaux courbes $b'c'$, on veut faire usage d'une courbe à grand rayon, la longueur $DFE = l$ de cette courbe (*fig.* 9) dépendra du rayon R qu'on veut

Fig. 9.



lui donner. Les arcs de cercle $b'c' = a$ et DE correspondant à des angles au centre égaux entre eux, leurs longueurs sont proportionnelles aux rayons correspondants : 5 mètres et R. La longueur l sera donc donnée par la formule :

(1) $$l = \frac{a \times R}{5}.$$

Inversement, si l'on se donne *a priori* la longueur de la courbe, le rayon se calculera par la formule :

$$(2) \qquad R = \frac{5l}{a}.$$

La flèche $BF = f$ de la courbe, dont la connaissance est très utile pour le tracé, peut se calculer d'une manière très simple. Dans le cas où l'angle CBB' ne dépasse pas 15° à 20°, cas que l'on a à traiter généralement dans la pratique, la longueur DBE est très sensiblement égale à l, et la flèche f est donnée avec une approximation très suffisante par la formule suivante, qu'il est facile de calculer :

$$(3) \qquad f = a^2 \times \frac{R}{200}$$

ou encore :

$$(4) \qquad f = \frac{a \times l}{40}.$$

Cette dernière formule peut encore s'écrire sous la forme suivante, pour le cas où, la flèche étant déterminée à l'avance, on veut calculer la longueur l :

$$(5) \qquad l = \frac{40f}{a}.$$

Pour des raisons se rapportant au tirage des câbles, les courbes à grand rayon formées à l'aide de tuyaux droits ne peuvent dépasser une certaine courbure. On peut admettre 200 mètres comme la valeur minimum à adopter pour le rayon de ces courbes. Dans ces conditions, puisque R doit être plus grand que 200 mètres, l'angle CBB' étant mesuré sur le terrain, la formule (1) montre que l'on ne pourra donner à la courbe une longueur inférieure à 40 fois a, et la formule (3) que l'on ne pourra donner à la flèche f une valeur inférieure au

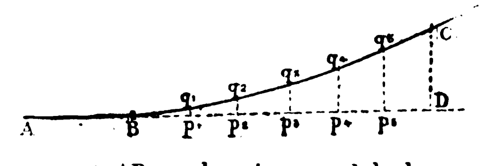
carré de a; ce que l'on peut traduire algébriquement par les inégalités :

$$(6) \qquad l \geqq 40a,$$

$$(7) \qquad f \geqq a^2.$$

Ces règles étant posées, nous allons procéder à la construction de la courbe par points. Comme type de courbe, d'où nous déduirons toutes les autres, nous prendrons une courbe BC, qui doit se raccorder en B avec l'alignement droit AB et qui doit aboutir au point C (*fig.* 10). Si l'on désigne par e la distance CD du point C

Fig. 10.



à l'alignement AB prolongé, par l la longueur de la courbe ou bien la longueur BD qui lui est sensiblement égale, et par R le rayon inconnu de la courbe, on aura entre ces trois quantités la relation :

$$(8) \qquad R = \frac{l^2}{2e}.$$

Si le point C n'était pas donné, mais que l'on fixât à l'avance le rayon R, l'écartement e se calculerait par la formule précédente, que l'on peut mettre sous la forme :

$$(9) \qquad e = \frac{l^2}{2R}.$$

Nous ferons remarquer en passant que, d'après cette formule, la valeur minimum de R étant de 200 mètres, la longueur l pour un écartement donné e devra être au moins égale à $20\sqrt{e}$. Inversement, pour une longueur donnée l, l'écartement e ne devra pas dépasser $\frac{l^2}{400}$. Ces

deux règles peuvent s'exprimer algébriquement par les formules :

(10) $$l \geqq 20\sqrt{e},$$

(11) $$e \leqq \frac{l^2}{400}.$$

Supposons maintenant que l'on divise la longueur $BD = l$ en un nombre quelconque n de parties égales : Bp_1, p_1p_2, p_2p_3, etc. La longueur Bp_1 étant égale à $\left(\frac{l}{n}\right)$, pour déterminer la distance $p_1q_1 = e_1$ du point q_1 de la courbe à la tangente BD, on emploiera la formule (9), qui s'appliquera en y remplaçant e par e_1 et la longueur l par la longueur $\left(\frac{l}{n}\right)$. Donc

$$e_1 = \frac{\left(\frac{l}{n}\right)^2}{2R} = \frac{l^2}{2R} \times \frac{1}{n^2}.$$

De même, la longueur Bp_2 étant égale à $\left(\frac{2l}{n}\right)$, la distance p_2q_2 du point q_2 de la courbe à la tangente BD se calculerait par la formule :

$$e_2 = \frac{\left(\frac{2l}{n}\right)^2}{2R} = \frac{l^2}{2R} \times \frac{4}{n^2}.$$

Pour déterminer le point q_3 de la courbe, on aurait :

$$p_3q_3 = e_3 = \frac{\left(\frac{3l}{n}\right)^2}{2R} = \frac{l^2}{2R} \times \frac{9}{n^2},$$

et ainsi de suite. Pour l'avant-dernier point q_{n-1}, on aurait :

$$e_{n-1} = \frac{\left[\frac{(n-1)l}{n}\right]^2}{2R} = \frac{l^2}{2R} \times \frac{(n-1)^2}{n^2}.$$

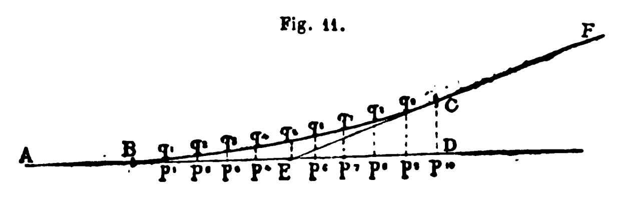
En résumé, ces formules peuvent s'écrire de la manière suivante :

$$
(E)\quad \left\{
\begin{aligned}
e_1 &= \frac{e}{n^2},\\
e_2 &= 4e_1,\\
e_3 &= 9e_1,\\
e_4 &= 16e_1,\\
&\;\vdots\\
e_{n-1} &= (n-1)^2 e_1.
\end{aligned}
\right.
$$

Pour tracer la courbe BC, on adoptera donc dans la pratique la règle suivante : on divisera la longueur BD en n parties égales $Bp_1 - p_1p_2$ — etc. Après la première division en p_1, on portera perpendiculairement à BD un écartement $p_1q_1 = e_1$ égal à l'écartement $CD = e$ divisé par le carré n^2 du nombre des divisions de BD. En p_2, on portera un écartement $p_2q_2 = e_2$ égal à e_1 multiplié par le carré de 2, c'est-à-dire à $4e_1$; en p_3, un écartement $p_3q_3 = e_3$ égal à e_1 multiplié par le carré de 3, c'est-à-dire à $9e_1$, et ainsi de suite jusqu'à la dernière division.

Prenons comme exemple $BD = 50^m$ et $CD = 3^m$. Nous diviserons, pour la commodité des calculs, la longueur BD en 10 parties égales $Bp_1 = p_1p_2 = p_2p_3 = \ldots$

Fig. 11.



de 5 mètres chacune (*fig.* 11). En p_1, nous porterons un écartement $p_1q_1 = \frac{3^m}{10^2} = 0^m,03$,

En p_2	on portera	p_2q_2	$=$	$0^m,03 \times 4$	$=$	$0^m,12$,
En p_3	»	p_3q_3	$=$	$0^m,03 \times 9$	$=$	$0^m,27$,
En p_4	»	p_4q_4	$=$	$0^m,03 \times 16$	$=$	$0^m,48$,
En p_5	»	p_5q_5	$=$	$0^m,03 \times 25$	$=$	$0^m,75$,
		$\vdots$				$\vdots$
En p_9	»	p_9q_9	$=$	$0^m,03 \times 81$	$=$	$2^m,43$.

En p_{10}, c'est-à-dire en D, on a $p_{10}q_{10} = DC = 0^m,03 \times 100 = 3^m$. La courbe se trouve ainsi déterminée par les points $q_1 - q_2 - q_3 \dots q_9$ — C. Le rayon de la courbe ainsi construite est égal, d'après l'équation (8), à

$$R = \frac{\overline{50}^2}{2 \times 3} = 416^m.$$

En outre, les tangentes AB et CF prolongées se rencontrent en un point E qui se confond avec p_5 vers le milieu de la courbe, de telle sorte que, si l'on ne connaît pas la direction de la tangente CF, pour l'obtenir il suffira de joindre le point C au milieu E de la longueur BD, qui vient d'être divisée en un certain nombre de parties égales.

L'angle des deux tangentes AB et CF aux extrémités de la courbe — ou la longueur a de tuyaux courbes correspondante à cet angle — sont faciles à calculer en fonction des données l et e du problème. On peut en effet tirer de l'équation (1), qui s'applique à une équation quelconque

$$a = \frac{5l}{R}.$$

En remplaçant R par son expression tirée de l'équation (8), on aura

$$(12) \qquad a = \frac{10e}{l}.$$

La méthode développée ci-dessus pour le tracé par points s'appliquera de la manière suivante au cas où l'on a à raccorder deux alignements droits AB, BC (*fig.* 9) par une courbe à grand rayon DFE. L'angle des deux alignements ayant été mesuré et la longueur l de la courbe ayant été choisie de manière que le rayon R soit au moins égal à 200 mètres, et qu'en même temps la courbe reste parallèle à l'axe de la route autant que

possible, on calculera la flèche BF $= f$ par la formule

$$f = \frac{a \times l}{40}.$$

On obtiendra ainsi la position du point F. Ensuite, on tracera par points, comme il a été indiqué, la courbe DF qui doit se raccorder en D avec l'alignement AB et qui doit aboutir au point F. Cette première moitié de la courbe DFE étant tracée, on tracera de la même manière l'autre moitié FE. Ces deux moitiés se raccorderont naturellement entre elles sans présenter de jarret au point F.

§ 3.

Dans le cas où — au lieu d'avoir (*fig.* 9) deux alignements droits AB et BC parfaitement déterminés, qu'il s'agit de raccorder par une courbe unique — on a une longue courbe plus ou moins sinueuse (*fig.* 12) qu'on ne

Fig. 12.

saurait tracer en une seule fois, on emploiera la méthode de tracé par *cheminement*. Cette méthode consiste à tracer une série de courbes AB, BC, CD, se raccordant entre elles et se raccordant aux extrémités A et D, avec les alignements droits AA_1 et DD_1.

Pour la première courbe AB, on sait qu'elle doit se

raccorder en A avec l'alignement droit AA_1. On pourra déterminer arbitrairement la longueur *l* de la courbe et le point B auquel elle doit aboutir, à la condition, bien entendu, que son rayon ne soit pas inférieur à 200 mètres et qu'elle ne se rapproche trop ni de la chaussée, ni des arbres ou du fossé. Ces conditions étant observées, on pourra la tracer par points, ainsi qu'il a été indiqué plus haut (*fig.* 10). Ensuite, pour avoir la tangente à la courbe à son extrémité B, on n'aura qu'à joindre ce point B au milieu *e* de la droite AE, ainsi qu'il a été expliqué plus haut.

La courbe suivante BC doit se raccorder en B avec la courbe AB ou, ce qui revient au même, avec sa tangente *e*B. Quant à la longueur de cette courbe, ainsi qu'au point C où elle doit aboutir, on pourra les choisir arbitrairement, de même que pour la première courbe, et avec les mêmes restrictions. On tracera la courbe BC par points; on mènera la tangente *f*C à son extrémité C, et l'on continuera à tracer toutes les courbes suivantes jusqu'à la dernière par le même procédé, en ayant bien soin de faire un tracé parallèle autant que possible à l'axe de la route ou aux rangées d'arbres suivant les cas, c'est-à-dire d'installer la ligne autant que possible toujours à la même distance de l'axe de la route ou des rangées d'arbres.

Pour la dernière courbe CD toutefois, comme elle doit se raccorder à son extrémité D avec l'alignement droit DD_1, on ne pourra plus choisir arbitrairement la longueur CD et la position du point D. Les droites CG et DD_1, qui doivent être tangentes à la courbe CD à ses extrémités, se coupant au point *g*, les longueurs C*g* et *g*D de part et d'autre de ce point *g* doivent être égales. Donc la courbe commençant en C doit aboutir en un point D de

l'alignement droit DD_1 que l'on déterminera en mesurant sur cet alignement droit à partir du sommet g de l'angle GgD une longueur gD égale à Cg. Le tracé de la courbe CD par points se fera ensuite comme à l'ordinaire.

Chacune des courbes que nous venons de tracer a pour effet de faire dévier la direction de la ligne soit à droite, soit à gauche, d'un certain angle formé par les tangentes aux extrémités de la courbe. Ainsi l'angle dont la direction de la ligne est déviée par l'effet de la courbe AB est BeE; l'angle correspondant à la courbe BC est CfF, dans le même sens que le premier, c'est-à-dire à gauche. L'angle correspondant à la courbe CD est GgD et tend, au contraire, à ramener la ligne à droite. Au point de vue du tirage des câbles, tous ces angles, au lieu de se retrancher lorsqu'ils sont en sens contraire, s'ajoutent toujours pour donner lieu à une augmentation du frottement des câbles sur la fonte des tuyaux. Si l'on veut calculer cette augmentation de frottement, on devra par conséquent connaître tous les angles tels que BeE, CfF, GgD, et les additionner. On n'aura d'ailleurs pas pour cela à les mesurer sur le terrain; on pourra simplement les calculer d'après la formule (12); cette formule, au lieu de donner l'expression des angles eux-mêmes, fera connaître la valeur a des longueurs correspondantes de tuyaux courbes, ce qui revient au même.

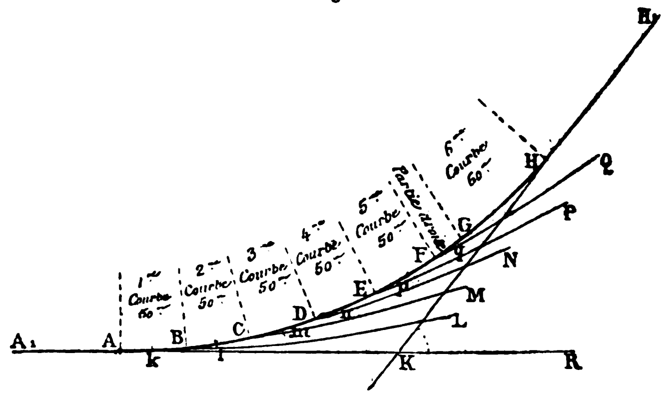
Afin de se rendre compte de la valeur pratique de la méthode développée ci-dessus pour le tracé des courbes par cheminement, on n'a qu'à jeter les yeux sur l'exemple suivant. Il s'agissait de faire un tracé ABCDEFGH (*fig.* 13) en ligne courbe sur une longueur de 331 mètres (du point $120^k,753$ au point $121^k,084$). Le tracé adopté fut le suivant :

5 courbes de rayon variable $\left\{ \begin{array}{l} AB = 50^m \\ BC = 50^m \\ CD = 50^m \\ DE = 50^m \\ EF = 50^m \end{array} \right\}$ soit 250^m.

Une partie droite. . . . . FG = 21^m . . . . 21^m.

Une courbe. . . . . GH = 60^m . . . . 60^m.

Fig. 13.



Les valeurs de a correspondantes aux différentes courbes, calculées d'après la formule (12), étaient

pour AB, $a_1 = \frac{10 \times e}{l} = \frac{10 \times 2^m,875}{50^m} = 0^m,575$ (angle BkK),

pour BC, $a_2 =$ » $= 0^m,38$ (angle ClL),

pour CD, $a_3 =$ » $= 0^m,20$ (angle DmM),

pour DE, $a_4 =$ » $= 0^m,30$ (angle EnN),

pour EF, $a_5 =$ » $= 0^m,40$ (angle FpP).

Pour la dernière courbe GH, la valeur de a avait été mesurée directement sur le terrain :

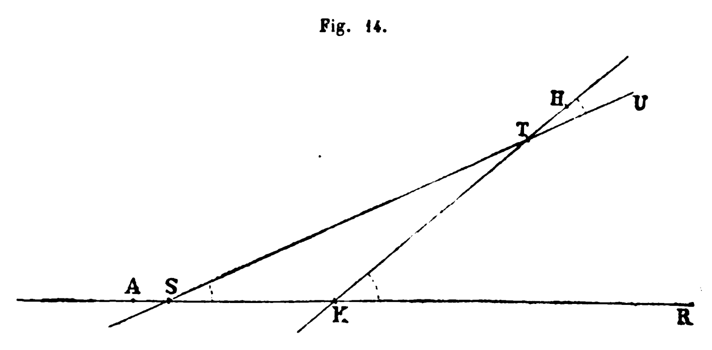
$$a_6 = 1^m,145 \text{ (angle H}q\text{Q)}.$$

La somme de tous ces angles, c'est-à-dire l'angle HKR des deux alignements droits extrêmes AA_1 et HH_1, était donc, d'après les nombres précédents, donnée par

$$a = a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5 + a_6 = 3^m,00.$$

D'autre part, cet angle HKR, dont le sommet K était dans les champs, n'avait pu être mesuré directement; mais on l'avait mesuré en deux fois en prenant un alignement intermédiaire STU (*fig.* 14). La somme des

Fig. 14.



angles TSK et HTU étant en effet égale à l'angle HKR, et la mesure de ces angles donnant

$$\text{TSK} = a' = 1^{m},45,$$
$$\text{HTU} = a'' = 1^{m},60,$$

la valeur de l'angle HKR, calculée d'après ces deux nombres, et exprimée en longueur de tuyaux courbes, était

$$a = a' + a'' = 3^{m},05.$$

La différence entre cette valeur de a et la valeur $3^{m},00$ calculée plus haut, d'après des données toutes différentes, n'est que de $0^{m},05$. Cette différence s'explique parfaitement si l'on considère le nombre des opérations effectuées sur le terrain et l'accumulation des erreurs auxquelles est sujette chaque opération. Elle peut même être considérée comme très faible relativement, et donne une idée de l'approximation qu'il est pratiquement possible d'obtenir en pareil cas.

Si l'on exprime l'angle HKR en degrés, on trouvera :

pour la première valeur correspondante à $a = 3^m$:

$$\text{HKR} = 3{,}00 \times 11°{,}46 = 34°23'$$

pour $a = 3^m{,}05$ . . . $\text{HKR} = 3{,}05 \times 11°46 = 34°57'$

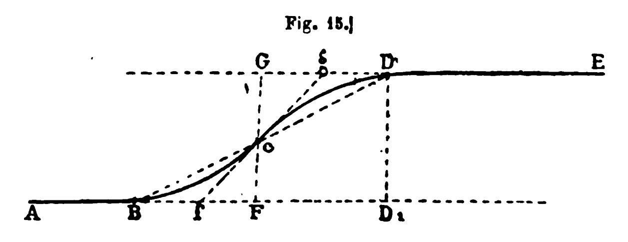
Différence. . . . . 34′

On peut donc admettre que la moyenne 34°40′ entre 34°23′ et 34°57′ représente l'angle HKR avec une approximation de 17′ environ.

§ 4.

Comme application du tracé des courbes, nous allons encore examiner le cas où l'on a à passer d'un alignement droit AB à un autre alignement droit DE parallèle au premier (*fig.* 15).

Fig. 15.



Il s'agit, en général, de raccorder les deux alignements par une courbe en S, dont les deux moitiés BC et CD sont des arcs de cercles égaux et à courbures opposées. Il en résulte que le point C de séparation de ces deux moitiés est au milieu de la droite qui joint B et D. Si donc on désigne par l la longueur BD_1 et par e l'écartement DD_1 des deux alignements, pour déterminer le point C, on mesurera sur l'alignement AB prolongé une longueur BF égale à $\frac{l}{2}$, et l'on portera en F l'écartement FC égal à $\frac{e}{2}$. Le point C étant déterminé, on tra-

cera la moitié BC de la courbe en S comme une courbe devant se raccorder en B à l'alignement AB et aboutir au point C (v. *fig.* 10). De même la moitié CD se tracera comme une courbe devant se raccorder en D à l'alignement DE et aboutir au point C. Quant à la tangente commune fCg aux deux courbes BC et CD au point C, on l'obtiendra, comme on a vu plus haut, en joignant le point C soit au milieu f de BF, soit au milieu g de DG.

La courbe en S étant tracée, il restera à calculer la somme des angles CfF et CgG correspondants à chaque moitié de la courbe, pour en tenir compte au point de vue du tirage des câbles. Pour l'angle CfF correspondant à la courbe BC, comme la longueur BF est égale à $\frac{l}{2}$ et l'écartement FC à $\frac{e}{2}$, la formule (12) donne

$$a_1 = 10 \frac{\left(\frac{e}{2}\right)}{\left(\frac{l}{2}\right)} = 10 \frac{e}{l}.$$

De même pour le second angle CgG, qui est égal au précédent : $a_2 = 10 \frac{e}{l}$. La somme des deux angles donnera donc

$$a = a_1 + a_2$$

ou

(13) $$a = \frac{20e}{l}.$$

Enfin le rayon de chacun des deux arcs de cercle qui forment la courbe en S sera donné par la formule (8), qui devient dans ce cas

(14) $$R = \frac{\left(\frac{l}{2}\right)^2}{2 \times \left(\frac{e}{2}\right)} = \frac{l^2}{4e}.$$

Cette équation peut s'écrire

$$(15) \qquad l = 2\sqrt{R \cdot e}.$$

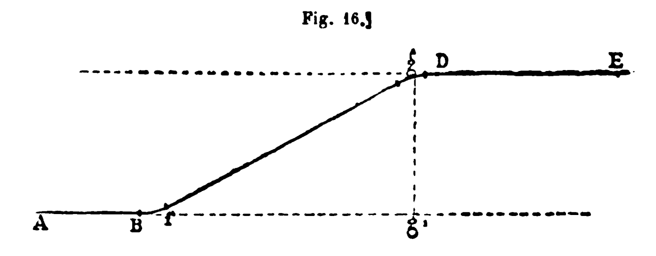
Comme le rayon R ne peut être inférieur à 200 mètres, la longueur l devra être au moins égale à $2\sqrt{200 \times e}$ ou $20\sqrt{2e}$, ce qui se traduit par l'inégalité

$$(16) \qquad l \overline{\overline{>}} 20\sqrt{2e}.$$

Si au lieu de raccorder les deux alignements AB et DE par une courbe en S, on veut faire le raccordement à l'aide de tuyaux courbes en prolongeant l'alignement AB jusqu'en f, l'alignement DE jusqu'en g, et en joignant fg par une ligne droite, les longueurs des tuyaux courbes à placer en f et en g (*fig.* 16) seront données par la formule

$$a_1 = a_2 = \frac{5 \times gg_1}{fg}.$$

Fig. 16.



Mais cette formule n'est qu'approchée, et quoiqu'elle soit à très peu près exacte, pour placer les tuyaux courbes f et g, il est préférable de les mesurer directement sur le terrain par la méthode indiquée au § 1.

Le passage d'un alignement droit à un autre alignement parallèle à l'aide de tuyaux courbes se présente lorsqu'on effectue un changement de côté sur la route en quittant, par exemple, à partir d'un certain point, l'accotement de gauche pour prendre celui de droite ou

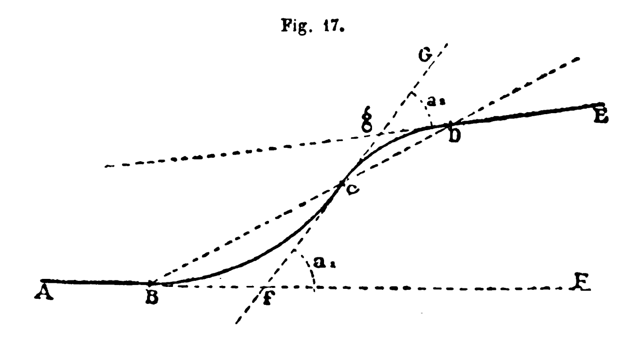
inversement. A part ce cas, il vaut mieux, en général, à moins que l'écartement des deux alignements ne soit très grand, les raccorder à l'aide d'une courbe en S à grand rayon, chaque fois que l'on pourra disposer, pour la courbe en question, d'une longueur supérieure ou au moins égale au minimum fixé par la formule (16).

§ 5.

Le cas du passage d'un alignement droit AB à un autre DE non parallèle au premier est très rare dans la pratique; nous allons le traiter toutefois. D'abord, si l'on veut faire le raccordement à l'aide de tuyaux courbes placés en *f* et en *g*, le problème est très simple. On n'aura qu'à mesurer les angles a_1 et a_2 sur le terrain ; ils donneront les longueurs correspondantes de tuyaux courbes.

Si, au contraire, on veut effectuer le raccordement à l'aide d'une courbe à grand rayon BCD composée de deux arcs de cercle BC et CD de même rayon et à courbures opposées, on commencera également par mesurer les angles a_1 et a_2 correspondants, comme l'indique la *fig.* 17, respectivement aux arcs BC et CD. Soient l_1 la

Fig. 17.



longueur inconnue de l'arc BC, l_2 la longueur de CD. Si R désigne le rayon commun, on aura, d'après la formule (1)

$$l_1 = \frac{a_1 \times R}{5},$$

$$l_2 = \frac{a_2 \times R}{5}.$$

Mais la longueur fg, que l'on peut mesurer sur le terrain et que nous désignerons par L, se compose de fC, qui est la moitié de l_1, et de Cg, qui est la moitié de l_2; donc $L = \frac{l_1}{2} + \frac{l_2}{2}$, et par suite

$$L = \frac{a_1 \times R}{10} + \frac{a_2 \times R}{10}$$

ou

$$L = \frac{(a_1 + a_2)R}{10}.$$

On tire de là

$$R = \frac{10L}{a_1 + a_2}, \tag{17}$$

et il en résulte pour l_1 et l_2 les valeurs

$$l_1 = \frac{2a_1 \times L}{a_1 + a_2}, \tag{18}$$

$$l_2 = \frac{2a_2 \times L}{a_1 + a_2}. \tag{19}$$

Les formules (18) et (19) indiqueront la position du point C et les longueurs respectives des deux parties de la courbe en S. On pourra donc tracer cette courbe par points. Qnant à la formule (17), elle servira à vérifier si le rayon de la courbe est bien supérieur ou au moins égal au minimum de 200 mètres.

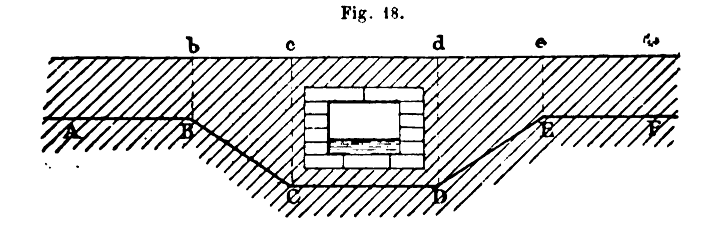
§ 6.

Lorsqu'on rencontre un obstacle quelconque tel qu'un pont, un aqueduc, une conduite d'eau ou de gaz, etc.,

qui force la conduite à remonter (*fig.* 6) ou à s'abaisser (*fig.* 5) pour franchir l'obstacle, on a à effectuer un tracé spécial consistant à passer d'alignements droits à d'autres alignements droits parallèles — de AB à CD et de CD à EF. Seulement, on ne peut pas employer dans ce cas la méthode exposée au § 4 pour le tracé des courbes BC et DE par points, puisque ces courbes, au lieu de se trouver sur le sol de la route, c'est-à-dire dans un plan horizontal, sont dans des plans verticaux, savoir les parois de la tranchée. Mais, à part les difficultés pratiques que l'on rencontre, la théorie est la même qu'au § 4.

Ainsi supposons qu'il s'agisse de franchir un obstacle en dessous à l'aide de pentes droites BC et DE et de tuyaux courbes placés en B, C, D et E (*fig.* 18). La pro-

Fig. 18.



fondeur ordinaire *b*B étant égale à p_1 et la profondeur *c*C, en dessous de l'obstacle, étant égale à p_2, si l'on donne à la pente BC une longueur égale à l, pour raccorder la partie en palier AB avec la pente BC et cette pente avec la partie en palier CD, il faudra en B et en C des tuyaux courbes dont la longueur serait facile à calculer. Cette longueur est

$$(20) \qquad a_1 = a_2 = 5\,\frac{p_2 - p_1}{l}.$$

Inversement, si l'on veut faire usage de tuyaux courbes d'une longueur égale à a_1, la longueur à donner à la

pente sera :

$$(21) \qquad l = 5\,\frac{p_2 - p_1}{a_1};$$

Si l'on a, par exemple:

$$p_1 = 1^m,20,$$
$$p_2 = 2^m,70,$$

il en résulte une différence de niveau $p_2 - p_1 = 1^m,50$ à regagner de B en C, et si l'on donne à la pente BC une longueur $l = 7^m,50$, on trouvera par la formule (20) :

$$a_1 = a_2 = 1^m.$$

Si pour la même différence de niveau de $1^m,50$, on prend une pente de 15 mètres de longueur, on aura :

$$a_1 = a_2 = 0^m,50,$$

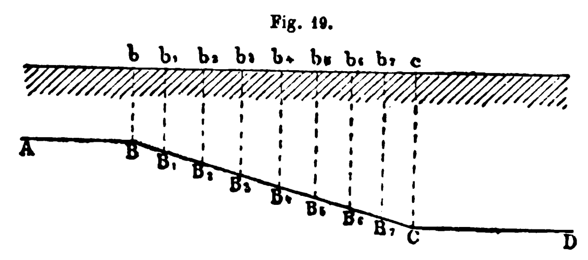
c'est-à-dire que l'on aura à placer en B et en C des tuyaux courbes coupés à la longueur de $0^m,50$. Il en sera de même pour remonter l'autre pente DE. On prendra en général des pentes égales de chaque côté de l'aqueduc, mais on peut être amené, pour une raison quelconque, à prendre des pentes inégales. Dans ce dernier cas, on aura à calculer séparément pour chacune d'elles les longueurs à donner aux tuyaux courbes.

Pour s'assurer que la conduite est bien posée en ligne droite le long des pentes BC et DE, on aura à vérifier si le fond de la tranchée est bien réglé. Ce réglage peut se faire à l'œil d'une manière satisfaisante; mais pour peu que les pentes soient longues, il devient très difficile à exécuter. Il sera beaucoup plus simple de calculer, comme repères, en différents points des pentes, par exemple tous les mètres, la profondeur de la tranchée.

Ainsi supposons (*fig.* 19) que, la profondeur ordinaire *b*B étant de $1^m,20$ et la profondeur *c*C sous l'aqueduc

de $2^m,80$, on veuille faire emploi de tuyaux courbes de 1 mètre. On devra, à cet effet, d'après la formule (21),

Fig. 19.



prendre la pente sur une longueur $bc = 8^m$. Divisons donc bc en huit parties de 1 mètre chacune $bb_1 = b_1b_2 = b_2b_3 = ... = b_7c$. Puisque de b en c, c'est-à-dire sur 8 mètres, on regagne une différence de niveau de $1^m,60$, sur une longueur de 1 mètre on regagnera $0^m,20$. Les profondeurs aux points b, b_1, b_2, b_3,...c seront donc

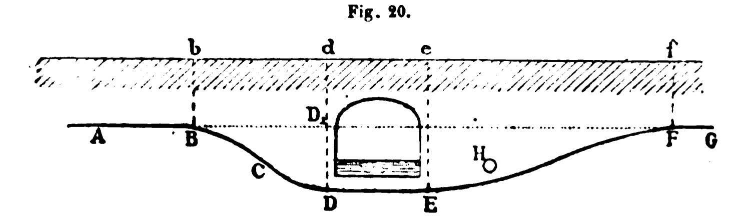
$$bB = 1^m,20,$$
$$b_1B_1 = 1^m,40,$$
$$b_2B_2 = 1^m,60,$$
$$b_3B_3 = 1^m,80,$$
$$b_4B_4 = 2^m,00,$$
$$b_5B_5 = 2^m,20,$$
$$b_6B_6 = 2^m,40,$$
$$b_7B_7 = 2^m,60,$$
$$cC = 2^m,80.$$

En général, la différence de niveau à regagner entre les points b et c, c'est-à-dire sur une longueur de l mètres, étant $(p_2 - p_1)$, la différence de niveau à regagner sur une longueur de 1 mètre sera $\frac{p_2 - p_1}{l}$, ou bien, ce qui revient au même, d'après la formule (20), $\frac{a_1}{5}$.

Dans l'exemple précédent, le calcul des profondeurs de la tranchée en différents points de la pente constitue une sorte de tracé de la ligne par points. Le même mode de

tracé par points peut s'appliquer à une courbe quelconque située dans un plan vertical, par exemple à la courbe BCD en forme de S destinée à raccorder les parties en palier AB et DE (*fig.* 20). On est ramené, dans ce cas, au

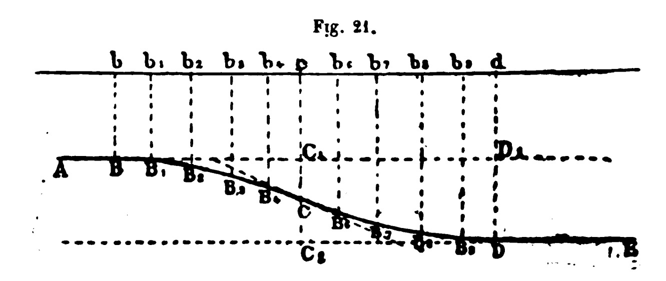
Fig. 20.



tracé d'une courbe en S d'une longueur $BD_1 = l$ raccordant deux alignements parallèles AB et DE dont l'écartement est $DD_1 = e$. On commencera par déterminer la position du point C de séparation des deux arcs de cercle BC et CD; puis on effectuera le tracé par points séparément pour ces deux courbes par une méthode analogue à celle qui a été indiquée plus haut pour les pentes droites. L'exemple suivant montrera comment on peut calculer la profondeur de la tranchée en différents points de la courbe BCD.

Soient $bB = 1^m,20$ la profondeur ordinaire de la conduite; $dD = 2^m;10$ la profondeur que l'on atteint sous l'obstacle, et $BD_1 = 30^m$ la longueur que l'on prend pour la courbe en S (*fig.* 21).

Fig. 21.



La profondeur du milieu C de la courbe en S sera la moyenne $\frac{1,20 + 2,10}{2}$ des profondeurs en *b* et en *d*, soit $1^m,65$. L'écartement CC_1 est donc égal à $1^m,65 - 1^m,20 = 0^m,45$. Divisons la longueur BC_1 en cinq parties de 3 mètres chacune. L'écartement CC_1 du point C, c'est-à-dire la distance du point C à la tangente horizontale ABC_1 étant de $0^m,45$, d'après les formules (E),

l'écartement de B_1 sera égal à $\frac{0,45}{5^2} = 0^m,018$;
l'écartement de B_2 sera $0,018 \times 4 = 0^m,072$;
l'écartement de B_3 sera $0,018 \times 9 = 0^m,162$;
l'écartement de B_4 sera $0,018 \times 16 = 0^m,288$.

Comme d'ailleurs le niveau du sol est à $1^m,20$ au-dessus de l'horizontale ABC_1, les distances des points B_1, B_2, B_3, B_4 au sol, c'est-à-dire les profondeurs de la tranchée aux points b_1, b_1, b_3, b_4 sont

profondeur en $b_1 = 1^m,20 + 0^m,018 = 1^m,218$;
» $b_2 = 1^m,20 + 0^m,072 = 1^m,272$;
» $b_3 = 1^m,20 + 0^m,162 = 1^m,362$;
» $b_4 = 1^m,20 + 0^m,288 = 1^m,488$.

On calculera de même les profondeurs aux points $b_6 - b_7 - b_8 - b_9$.

profondeur en $b_9 = 2^m,10 - 0^m,018 = 2^m,082$;
» $b_8 = 2^m,10 - 0^m,072 = 2^m,028$;
» $b_7 = 2^m,10 - 0^m,162 = 1^m,938$;
» $b_6 = 2^m,10 - 0^m,288 = 1^m,812$.

On pourra ainsi former le tableau des profondeurs de la tranchée, de 3 mètres en 3 mètres, le long de la courbe en S :

profondeur en $b = 1^m,200$;
» $b_1 = 1^m,218$;
» $b_2 = 1^m,272$;

profondeur en $b_3 = 1^m,362$;
» $b_4 = 1^m,488$;
» $c = 1^m,650$;
» $b_6 = 1^m,812$;
» $b_7 = 1^m,938$;
» $b_8 = 2^m,028$;
» $b_9 = 2^m,082$;
» $d = 2^m,100$.

On opérera de la même manière si, au lieu de calculer la profondeur de 3 mètres en 3 mètres, on veut l'avoir tous les 2 mètres ou tous les mètres.

La courbe BCD étant tracée, on tracera la courbe EF (*fig.* 20) d'une manière analogue. Cette seconde courbe ne sera pas nécessairement identique à la première. Ainsi, pour passer au-dessous d'un obstacle tel que H, on sera obligé de donner à la courbe EF une longueur plus grande qu'à BCD pour qu'elle ne se relève pas trop brusquement et ne vienne pas rencontrer l'obstacle H.

Les longueurs des courbes BCD et EF pourront donc varier suivant les circonstances. On aura soin toutefois de vérifier que leur rayon n'est pas inférieur à 200 mètres. Ce rayon se calculera d'ailleurs au moyen de la formule (14), la même qui est applicable aux courbes horizontales tracées sur le sol de la route, savoir

$$R = \frac{l^2}{4e}.$$

l désigne la longueur de la courbe et e la différence des profondeurs de la tranchée à ses extrémités. Ainsi, dans l'exemple numérique précédent, on avait

$$BD_1 = l = 30^m,$$
$$DD_1 = e = 2^m,10 - 1^m,20 = 0^m,90.$$

Par suite

$$R = \frac{\overline{30}^2}{4 \times 0,90} = 225^m.$$

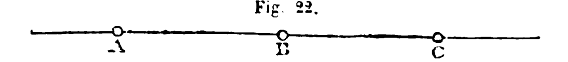
Il reste à indiquer, concernant le passage de la ligne en dessus ou en dessous des ponts, ponceaux, aqueducs, etc., quels sont les cas où il est préférable de faire usage de tuyaux courbes pour le tracé. Pour des raisons relatives au tirage des câbles, on évitera en général l'emploi de tuyaux courbes. Une courbe à grand rayon *dans un plan vertical* ne présentera pas, en effet, plus de résistance au tirage des câbles qu'une partie droite de même longueur, tandis que les tuyaux courbes augmentent toujours cette résistance. Il est vrai que lorsqu'il s'agit de descendre à une profondeur supérieure à la profondeur ordinaire, il résulte de l'emploi des courbes à grand rayon un terrassement supplémentaire qui est proportionnel à la longueur des pentes; et comme l'emploi des tuyaux courbes a pour effet de réduire cette longueur, il aura en même temps pour effet de réduire le terrassement supplémentaire. Aussi, dès que la profondeur de la conduite sous l'obstacle qu'il s'agit de franchir atteindra une certaine valeur, de $2^{m},20$ à $2^{m},50$, par exemple, ou bien lorsque la difficulté du travail rendra les fouilles très coûteuses, cette dernière considération l'emportera sur celle du tirage des câbles, et il y aura avantage à faire usage de tuyaux courbes permettant de descendre à la profondeur voulue à l'aide de pentes relativement très courtes.

§ 7.

Dans les paragraphes précédents, nous avons passé en revue à peu près tous les cas qui peuvent se présenter dans le tracé d'une ligne. Une fois le tracé de la ligne arrêté, il reste à déterminer la longueur des sections de tirage des câbles. Lorsque la ligne est droite, on adopte comme longueur normale des sections 500 mètres, c'est

à-dire que le tirage des câbles se fait par sections AB, BC, etc. (*fig.* 22) de 500 mètres chacune. A cet effet, on

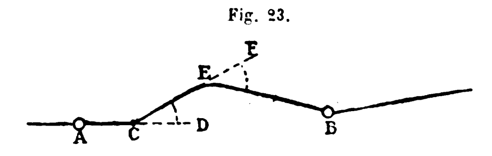
Fig. 22.



disposera tous les 500 mètres des regards A, B, C, etc., appelés chambres, par où s'effectueront les opérations de tirage, de soudure et, au besoin, de coupure des sections de câbles. Mais l'on conçoit que si le tracé de la ligne présente des angles franchis soit à l'aide de tuyaux courbes, soit à l'aide de courbes à grand rayon, le frottement des câbles sur la fonte des tuyaux augmentera en raison du nombre et de la grandeur de ces angles. Par conséquent, si l'on veut que dans aucun cas les difficultés du tirage ne dépassent certaines limites, par exemple, pour fixer les idées, qu'elles soient toujours à peu près les mêmes que pour le tirage d'une section de 500 mètres en ligne droite, chaque fois que le tracé présentera des angles, il y aura lieu de réduire la longueur des sections dans une certaine proportion, qu'il sera facile de déterminer d'après une formule très simple.

Ainsi, on commencera par calculer la somme des angles ECD, FEB, etc., que présente une section (*fig.* 23),

Fig. 23.



soit que ces angles soient franchis à l'aide de tuyaux courbes comme en C, soit qu'ils soient franchis à l'aide de courbes comme en E. On évaluera la valeur totale *a* de tuyaux courbes correspondante à la somme des angles en question, et l'on prendra pour longueur L de la sec-

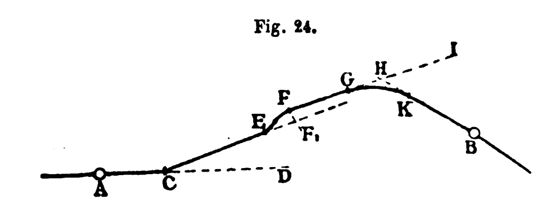
tion AB : 500 mètres *moins* 30 *fois la longueur* a. Cette règle s'exprime algébriquement par la formule

$$(22) \qquad L = 500^m - 30a.$$

La longueur L calculée d'après cette formule sera telle que la section AB présentera au tirage des câbles une résistance ne dépassant pas celle d'une section de 500 mètres en ligne droite. La longueur $30a$, qu'il faut retrancher de la longueur normale de 500 mètres pour obtenir ce résultat, indique donc que l'effet des angles ECD, FEB, etc., au point de vue de la résistance au tirage des câbles, est équivalent, approximativement au moins, à celui d'une longueur de conduite égale à $30a$.

Pour éclaircir par un exemple numérique la règle exprimée par la formule (22), supposons qu'il s'agisse de calculer la longueur AB = L à donner à une section (*fig.* 24) contenant :

Fig. 24.



1° Un angle ECD franchi à l'aide d'une longueur a_1 de tuyaux courbes;

2° Une courbe EF en S dont la longueur est l, l'écartement des alignements CEF₁ et FG étant égal à e;

3° Un angle IHK, franchi à l'aide d'une courbe à grand rayon GK et correspondant à une longueur a_3 de tuyaux courbes.

La valeur de a, qui doit entrer dans la formule (22), se composera des termes suivants :

1° a_1. . . . . provenant de l'angle ECD;

2° $a_2 = \frac{20e}{l}$ (formule 13), provenant de la courbe en S;

3° a_3. . . . . provenant de l'angle IHK.

Soit, par exemple,

$$a_1 = 1^m,50,$$
$$l = 30^m \qquad e = 0^m,90,$$
$$a_3 = 0^m,76.$$

On calculera d'abord le terme a_2 par la formule

$$a_2 = \frac{20 \times 0,90}{30} = 0^m,60,$$

puis on aura

$$a = a_1 + a_2 + a_3 = 2^m,86,$$

d'où

$$L = 500^m - 30a = 414^m,20.$$

Au lieu de $414^m,20$, on prendra pour la longueur de la section un nombre rond, tel que 400 mètres ou 410 mètres.

Si dans la section AB se trouvait compris le passage en dessus ou en dessous d'un pont, d'un aqueduc, etc., il y aurait lieu de tenir compte, dans le calcul de a, des longueurs de tuyaux courbes employées à cet effet. Mais si au lieu de tuyaux courbes on trace des courbes en S à grand rayon (*fig.* 21), il n'y a pas lieu d'en tenir compte, ces courbes situées dans un plan vertical n'ayant pas pour effet d'augmenter les résistances au tirage des câbles, ainsi que nous l'avons déjà fait observer.

Enfin, si la surface même du sol présentait des pentes défavorables au tirage des câbles (*fig.* 25), on pourrait en tenir compte dans l'évaluation de la longueur à donner à la section AB. h désignant la hauteur BB_1 de la chambre B au-dessus de la chambre A, on aura à réduire la longueur L de la section de 3 fois cette hauteur. De telle

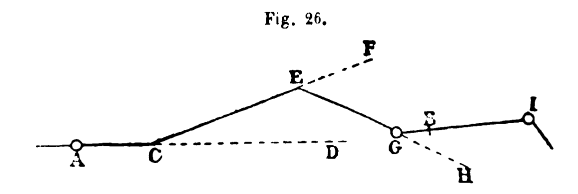
sorte que la formule (22), complétée dans ce sens, donne finalement :

$$L = 500^{m} - 30a - 3h. \qquad (23)$$

Fig. 25.

Dans la pratique, on ne donne pas toujours aux sections de conduite exactement la longueur calculée d'après la formule (23), d'autant plus que cette formule n'est qu'approchée. Elle donne en réalité une longueur L telle que la section AB présentera au tirage des câbles une résistance qui ne sera certainement pas supérieure et sera peut-être bien inférieure à la résistance d'une section de 500 mètres en ligne droite. Ainsi, au lieu de prendre la valeur calculée L, on prendra un nombre rond voisin de L. En outre, diverses circonstances peuvent modifier la longueur de la section AB; nous citerons seulement les deux cas suivants (*fig.* 26 et 27).

Fig. 26.

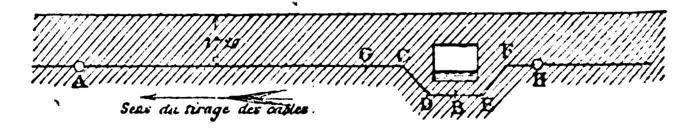


Soit AB=L la longueur calculée, d'après la formule (23), pour une section renfermant des angles ECD—FEG—BGH (*fig.* 26), et supposons que l'extrémité B de cette section tombe tout près du sommet de l'angle BGH, que l'on

comptait franchir à l'aide d'un tuyau courbe. Dans ce cas, on réduira la section de la longueur BG, pour placer au sommet G de l'angle la chambre qui devrait être placée en B. Cette chambre G s'appelle *chambre d'angle;* au lieu d'avoir ses deux tubulures percées diamétralement, comme celle que l'on aurait placée en B, elle aura une tubulure dirigée suivant GE et l'autre suivant GB. On aura, de cette manière, l'avantage de supprimer complètement l'angle BGH au point de vue du tirage. En effet, la section ACEG ne contient plus cet angle, qui ne fait pas non plus partie de la section suivante GBI.

Supposons encore que la longueur AB = L calculée pour une section soit telle que son extrémité B tombe au-dessous d'un aqueduc ou d'un obstacle quelconque (*fig.* 27). Si chacun des tuyaux courbes C et D a une

Fig. 27.



longueur de 1 mètre, la valeur de a qui doit entrer dans la formule (23) est :

$$a = 2^{m}$$

et

$$L = 500^{m} - 30a = 440^{m}.$$

On pourrait, pour éviter l'inconvénient d'avoir une chambre placée en B sous l'aqueduc, réduire de 10 mètres, par exemple, la longueur de la section de manière à placer la chambre en G avant le premier tuyau courbe C. Mais on peut, dans ce cas, presque sans augmenter les difficultés de tirage, placer la chambre en H après l'aqueduc, à 10 mètres plus loin que le point B. Il est vrai que

si l'on calculait d'après la formule (23) la longueur à donner à une section contenant les tuyaux courbes C, D, E, F, dont la somme est de 4 mètres, on trouverait

$$L = 500^{m} - 30a = 380^{m},$$

tandis que la section AH atteint 450 mètres. Mais, comme nous l'avons dit, cette formule n'est qu'approchée. Elle ne tient pas compte de la position des tuyaux courbes sur la section AH; elle ne tient compte que de leur somme a. Or, la résistance de frottement développée par les courbes à grand ou à petit rayon pendant le tirage des câbles est bien différente suivant qu'elles sont placées près de l'extrémité H de la section, c'est-à-dire du côté de l'entrée des câbles dans la conduite ou bien près de l'extrémité A, et en particulier les quatre tuyaux courbes C, D, E, F, dont la résistance équivaudrait à celle d'une longueur de tuyaux droits égale à $30a$, soit 120 mètres, s'ils étaient tout près de la chambre A, n'ont qu'un effet à peu près insignifiant dans une position voisine de la chambre H. La longueur de 450 mètres, soit 50 mètres en moins de la longueur normale de 500 mètres, ne sera donc pas exagérée pour la section AH.

Il peut encore arriver qu'une chambre, au lieu de tomber en B sous un aqueduc ou un obstacle quelconque, comme dans l'exemple précédent, tombe sur la voûte d'un pont, où elle serait noyée dans la maçonnerie, ou bien en un point situé à une faible profondeur au-dessous du sol, où elle serait exposée à être défoncée par suite du passage de lourdes voitures sur la route. Pour éviter tout inconvénient de ce genre, on raccourcira ou on allongera la section, suivant les cas, de manière à placer la chambre dans le terrain ordinaire et à une profondeur minimum de 1 mètre, pour plus de sécurité.

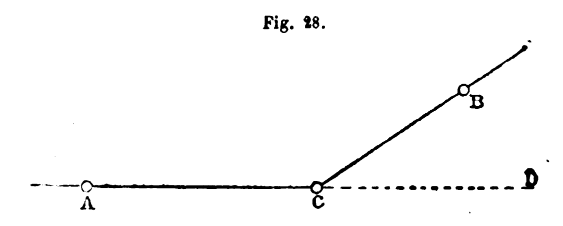
§ 8.

Nous terminerons cet article par quelques mots relatifs aux chambres d'angle et aux manchons. Nous avons vu plus haut (*fig.* 26) un exemple de chambre d'angle. Les chambres d'angle sont de deux sortes :

1° Les chambres *de soudure*, telles que G (*fig.* 26), placées aux extrémités des sections de conduite. La chambre G est ainsi nommée parce que l'on y procède aux opérations de soudure des sections de câbles AG et GI, qui sont amenées successivement dans la conduite;

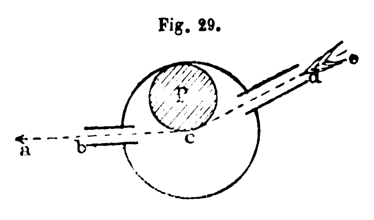
2° Les chambres *de tirage*, telles que C (*fig.* 28), inter-

Fig. 28.



calées dans une section AB en un sommet d'angle. La chambre C est ainsi nommée parce que les câbles sont tirés en une seule longueur de A en B; elle a pour but de faciliter le tirage par le passage des câbles *a b c d e* sur une poulie de renvoi P placée dans la chambre (*fig.* 29); mais on n'y fait pas de soudures.

Fig. 29.

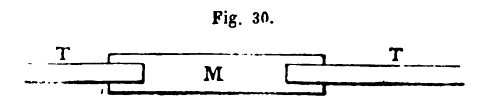


Étant donné le but des chambres d'angle, qui est de

supprimer les angles du tracé au point de vue du tirage des câbles, on appréciera facilement sur le terrain même les cas où il y a lieu d'en faire usage.

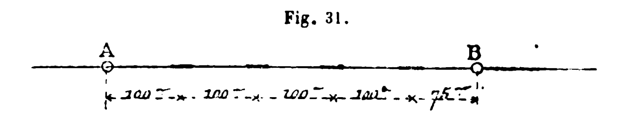
Les manchons M (*fig.* 30) sont des tuyaux d'un dia-

Fig. 30.



mètre intérieur un peu plus fort que le diamètre extérieur des tuyaux ordinaires TT, et que l'on peut faire glisser librement sur ceux-ci, de manière à découvrir l'intérieur de la conduite sur une longueur égale à la distance entre les tuyaux TT. Ce sont des regards que l'on espace le long de la conduite de 100 mètres en 100 mètres, excepté aux emplacements des chambres tous les 500 mètres. Si la distance entre deux chambres A et B n'est pas de 500 mètres exactement, si elle est de 475 mètres, par exemple (*fig.* 31), au lieu de partager cette dis-

Fig. 31.



tance en parties égales par les manchons, on devra toujours placer ceux-ci de 100 mètres en 100 mètres à partir de la première des deux chambres. Il restera entre le dernier manchon et la chambre B un intervalle de 75 mètres seulement, il est vrai; mais la règle précédente offre cet avantage qu'elle est d'une exécution sûre et facile, et qu'il n'est pas nécessaire de repérer les manchons pour les retrouver ultérieurement.

Toutefois, si un manchon devait tomber sous un obstacle tel que pont, aqueduc, etc., ou dans une maçon-

nerie, on devrait l'avancer ou le reculer de 10 ou 20 mètres, par exemple, afin d'éviter cet inconvénient, qui aurait pour effet de rendre le manchon très difficile à atteindre.

§ 9.

TABLE I

donnant les longueurs de tuyaux courbes avec les valeurs des angles correspondants.

Formule (A) $A = a \times 11°,46$.

a = 0m,10	A = 1° 9'	a = 2m,80	A = 32° 5'	a = 5m,50	A = 63° 1'
0 ,20	2 18	2 ,90	33 14	5 ,60	64 10
0 ,30	3 26	3 ,00	34 22	5 ,70	65 18
0 ,40	4 35	3 ,10	35 31	5 ,80	66 27
0 ,50	5 44	3 ,20	36 40	5 ,90	67 36
0 ,60	6 53	3 ,30	37 48	6 ,00	68 45
0 ,70	8 1	3 ,40	38 57	6 ,10	69 54
0 ,80	9 10	3 ,50	40 6	6 ,20	71 3
0 ,90	10 19	3 ,60	41 15	6 ,30	72 11
1 ,00	11 27	3 ,70	42 23	6 ,40	73 20
1 ,10	12 36	3 ,80	43 32	6 ,50	74 29
1 ,20	13 45	3 ,90	44 41	6 ,60	75 38
1 ,30	14 53	4 ,00	45 50	6 ,70	76 46
1 ,40	16 2	4 ,10	46 59	6 ,80	77 55
1 ,50	17 11	4 ,20	48 8	6 ,90	79 4
1 ,60	18 20	4 ,30	49 16	7 ,00	80 12
1 ,70	19 28	4 ,40	50 25	7 ,10	81 21
1 ,80	20 37	4 ,50	51 34	7 ,20	82 30
1 ,90	21 46	4 ,60	52 43	7 ,30	83 38
2 ,00	22 55	4 ,70	53 51	7 ,40	84 47
2 ,10	24 4	4 ,80	55 0	7 ,50	85 56
2 ,20	25 13	4 ,90	56 9	7 ,60	87 5
2 ,30	26 21	5 ,00	57 17	7 ,70	88 13
2 ,40	27 30	5 ,10	58 26	7 ,80	89 22
2 ,50	28 39	5 ,20	59 35	7 ,90	90 31
2 ,60	29 48	5 ,30	60 43	8 ,00	91 40
2 ,70	30 56	5 ,40	61 52		

TABLE II

donnant le minimum de la longueur l *et de la flèche* f *d'une courbe à grand rayon pour un angle donné* a.

Formules : (6) $l \geqq 40\,a$; (7) $f \geqq a^2$.

$a =$	$l \geqq$	$f \geqq$	$a =$	$l \geqq$	$f \geqq$
0m,10	4m	0m,01	1m,60	64m	2m,56
0 ,20	8	0 ,04	1 ,70	68	2 ,89
0 ,30	12	0 ,09	1 ,80	72	3 ,24
0 ,40	16	0 ,16	1 ,90	76	3 ,61
0 ,50	20	0 ,25	2 ,00	80	4 ,00
0 ,60	24	0 ,36	2 ,10	84	4 ,41
0 ,70	28	0 ,49	2 ,20	88	4 ,84
0 ,80	32	0 ,64	2 ,30	92	5 ,29
0 ,90	36	0 ,81	2 ,40	96	5 ,76
1 ,00	40	1 ,00	2 ,50	100	6 ,25
1 ,10	44	1 ,21	2 ,60	104	6 ,76
1 ,20	48	1 ,44	2 ,70	108	7 ,29
1 ,30	52	1 ,69	2 ,80	112	7 ,84
1 ,40	56	1 ,96	2 ,90	116	8 ,41
1 ,50	60	2 ,25	3 ,00	120	9 ,00

TABLE III

donnant la longueur minimum l_1 *d'une courbe simple ou* l_2 *d'une courbe en S, pour un écartement donné* e.

Formules : (10) $l_1 \geqq 20\sqrt{e}$; (16) $l_2 \geqq 20\sqrt{2e}$.

	Courbe simple.	Courbe en S.		Courbe simple.	Courbe en S.
$e =$	$l_1 \geqq$	$l_2 \geqq$	$e =$	$l_1 \geqq$	$l_2 \geqq$
0m,10	7m	9m	2m,00	29m	40m
0 ,20	9	13	2 ,20	30	42
0 ,30	11	16	2 ,40	31	44
0 ,40	13	18	2 ,60	33	46
0 ,50	15	20	2 ,80	34	48
0 ,60	16	22	3 ,00	35	49
0 ,70	17	24	3 ,40	37	53
0 ,80	18	26	3 ,80	39	56
0 ,90	19	27	4 ,20	41	58
1 ,00	20	29	4 ,60	43	61
1 ,20	22	31	5 ,00	45	63
1 ,40	24	34	5 ,50	47	67
1 ,60	26	36	6 ,00	49	70
1 ,80	27	38			

TABLE IV

indiquant les longueurs à donner aux sections de conduite suivant la somme des angles que contiennent ces sections.

Formule (22) $L = 500^m - 30a$.

$a = 0^m,00$	$L = 500^m$	$a = 3^m,67$	$L = 390^m$	$a = 7^m,00$	$L = 290^m$
0 ,33	490	4 ,00	380	7 ,33	280
0 ,67	480	4 ,33	370	7 ,67	270
1 ,00	470	4 ,67	360	8 ,00	260
1 ,33	460	5 ,00	350	8 ,33	250
1 ,67	450	5 ,33	340	8 ,67	240
2 ,00	440	5 ,67	330	9 ,00	230
2 ,33	430	6 ,00	320	9 ,33	220
2 ,67	420	6 ,33	310	9 ,67	210
3 ,00	410	6 ,67	300	10 ,00	200
3 ,33	400				

VASCHY.

CHRONIQUE.

La lumière électrique Edison au « General Post-Office » à Londres.

La Compagnie de la lumière électrique Edison a terminé une importante installation au Post-Office.

Les fonctionnaires du Post-Office avaient demandé depuis quelque temps qu'on éclairât les salles de travail d'une façon convenable au moyen de la lumière électrique. Dans la salle de la presse, à l'étage supérieur de l'édifice donnant sur « Saint-Martin's le Grand », travaillent environ 1200 employés, dont un grand nombre font le service la nuit : il importe donc que cette salle soit bien éclairée. Outre que l'on évite l'altération de l'air produite par le gaz, il est évident que la santé des agents et leur entrain pour le travail doivent gagner à un système d'éclairage qui n'est pas accompagné d'une élévation de température inutile dans les salles. Divers systèmes d'éclairage électrique ont été essayés. Un inconvénient capital pour la plupart d'entre eux, outre les extinctions et les accidents possibles, provenait de ce que l'espace dont dispose le Post-Office est beaucoup trop restreint pour permettre l'installation de dynamo-machines, de machines à vapeur et de chaudières. Donc le problème n'était pas résolu.

Il vient néanmoins de recevoir sa solution de la Compagnie de lumière électrique Edison. On sait, en effet, que le principe fondamental du système Edison consiste à produire l'électricité dans une station centrale. Pendant cinq mois, « Holborn Viaduct » a été éclairé sans interruption par les machines installées à « Holborn Viaduct », n° 57.

Les magasins, les rues, les hôtels et les églises ont reçu régulièrement le courant nécessaire à leur éclairage. La Compagnie, invitée par la Direction du Post-Office à lui appliquer ce système de distribution, a fait droit à cette demande en ins-

tallant un câble dans la rue de Newgate. La distance de la chambre des machines jusqu'à la salle de la presse du Post-Office est de 1.950 pieds (585 mètres).

Un câble formé de huit fils n° 10 a été placé dans un conduit en bois de teck créosoté enfoui sous le pavage. Partant de l'extrémité de l'ancienne amorce de conducteurs placée en galerie, le câble a un développement de 1.014 pieds (304 mètres) jusqu'à l'entrée du Post-Office.

Il était essentiel d'assurer un isolement suffisant. On y est parvenu en recouvrant le câble de ruban de fil isolant et le mettant dans le conduit sur les augets de support en insulite placés à un pied les uns des autres. Les augets étaient ensuite remplis avec le composé isolant ordinaire. Cinq regards furent ménagés de distance en distance. La résistance totale du cuivre pour la double longueur du câble est 0,024 ohms.

En entrant dans le bâtiment, le câble longe le mur dans un tuyau de fer et pénètre dans la salle de travail. Un compteur d'électricité Edison mesure la quantité de courant employée; dans la salle de travail, on a placé soixante-trois lampes à incandescence d'Edison de la puissance de seize candles. Elles sont pour le moment fixées aux becs de gaz. Au-dessus de chaque lampe, un abat-jour en porcelaine renvoie la lumière sur l'ouvrage des agents : à chaque branchement correspondant à une lampe est un préservateur, consistant en un fil fin qui laisse passer le courant normal et fond dès que l'intensité augmente. On prévient par ce moyen les effets fâcheux résultant d'un contact accidentel des fils.

L'ensemble du travail a été accompli par le personnel de la Compagnie en une dizaine de jours.

Lundi soir (21 août), les lampes furent allumées pour la première fois en présence des fonctionnaires du Post-Office; en éteignant le gaz et en envoyant le courant, la salle fut éclairée sans bruit, d'une lumière uniforme, fixe, douce, et beaucoup supérieure comme éclat au gaz qu'elle remplaçait.

On a remarqué le contraste qui existait entre l'éclairage calme et frais obtenu par l'incandescence et l'éclairage au gaz de l'autre portion de la galerie.

Cette expérience a montré à tous les assistants combien il est absurde de prétendre, comme on l'a fait si souvent, que

la lumière électrique est encore dans la période de l'expérimentation.

Il y avait là plus de soixante lampes, donnant une lumière uniforme et fixe absolument contrôlée par les indicateurs placés sur chaque lampe et mesurée pour chaque circuit par un compteur placé à l'atelier, distant d'environ un tiers de mille.

Quelques lampes vont encore être placées dans une autre salle du bâtiment. — Rien ne pouvait mieux démontrer l'utilité et la facilité d'application du système d'incandescence d'Edison pour les travaux de nuit qui exigent un bon éclairage.

(*Electrical Review.*)

Les télégraphes allemands de 1879 à 1881.

L'administration allemande vient de faire paraître son rapport sur les résultats obtenus dans les services des postes et des télégraphes, pendant la période triennale de 1879 à 1881. Nous extrayons de cet intéressant document les renseignements suivants, qui concernent plus particulièrement la télégraphie.

1. Considérations préliminaires.

Dans cette période triennale de 1879-1881, les services des postes et des télégraphes de l'Empire ont pris un développement favorable. Grâce aux bienfaits de la paix, les transformations provoquées dans le domaine de l'administration et dans celui de l'exploitation par la fusion de ces deux branches de services, par l'institution de l'Union universelle des postes et par l'accroissement considérable des établissements de poste et de télégraphie, ont pu aboutir à d'heureux résultats.

La reprise des affaires industrielles et commerciales, ainsi que l'amélioration et le développement des bureaux et des moyens de communication, a imprimé au trafic des postes et des télégraphes une impulsion considérable. Il en est résulté un accroissement des produits financiers qui s'est traduit par de forts versements au Trésor de l'Empire et a fourni

des ressources importantes pour étendre et améliorer encore les services de communications.

....Pour la télégraphie, l'utilisation croissante du téléphone est venue apporter aux habitants des campagnes aussi bien que des villes une facilité plus grande de relations. Le nombre des bureaux télégraphiques dans les campagnes s'est accru dans des proportions importantes, et dans les plus grandes villes de l'Empire, il a été établi des bureaux téléphoniques qui répondent à de nouveaux intérêts en permettant aux abonnés de converser directement entre eux, ce qui constitue une grande amélioration des moyens locaux de communications rapides.

....En ce qui concerne les relations avec l'étranger, le printemps de 1882 a vu s'établir la première relation directe entre l'Allemagne et l'Amérique.

La statistique fait ressortir l'heureuse influence que les réformes introduites ont eue sur le trafic. L'activité du service des postes, qui, en 1878, s'appliquait à 1.224 millions d'objets expédiés, s'est étendue, en 1881, à 1.441 millions, soit une augmentation de 217 millions ou de 17,75 p. 100. Pendant la même période de temps, le trafic télégraphique a accusé une augmentation de 3.853.512 télégrammes, c'est-à-dire de près de 36 p. 100.

Les produits nets de l'administration pendant cette période de trois années ont été de 51.944.900 marks (*), au lieu de 27.545.105 marks pendant la période triennale précédente de 1876 à 1878.

2. Établissements de trafic.

Le territoire postal de l'Empire allemand comprend une superficie de 444.170,27 kilomètres carrés, non compris 4.343,84 kilomètres carrés de surface d'eau, et compte, d'après le recensement de 1880, 37.978.165 habitants.

.... Le plan suivi, depuis la fusion de la télégraphie avec la poste, pour l'extension considérable du réseau télégraphique, est arrivé à son achèvement à la fin de 1879, alors que le nombre des bureaux télégraphiques, qui, au début de la fusion

(*) Le mark = fr. 1,25.

en 1875, n'était que de 1686, avait atteint, en décembre 1879, le chiffre de 5.114, soit une augmentation de 3.428 ou de 300 p. 100. Ce nombre s'est accru encore depuis, mais sans plus avoir besoin de recourir à des mesures extraordinaires, et à la fin de 1881, il s'élevait à 5.896. Ce développement considérable a eu pour effet de mettre le télégraphe à la portée d'un grand nombre de localités et de districts qui, auparavant, étaient privés du bénéfice de ces communications.

Une autre source d'extension de la télégraphie, c'est la faculté accordée dans ces dernières années aux particuliers, aux maisons de commerce, aux fabricants, etc., de pouvoir établir à leurs frais des bureaux télégraphiques auxiliaires reliés au réseau de l'État par une ligne spéciale et qui servent à la transmission des télégrammes échangés avec ces maisons ou particuliers.

Le nombre de ces bureaux auxiliaires dans le territoire postal de l'Empire est de 72, la contribution à payer pour chacun d'eux à l'administration étant de 100 marks par an.

En outre, et sans être reliés au réseau de l'État, mais avec l'autorisation de l'administration, il a été établi des bureaux télégraphiques privés pour relier entre eux les différents immeubles d'un même propriétaire, particulièrement les bureaux d'affaires, les usines, les fabriques, etc., avec le domicile de leur possesseur. Ces bureaux, au nombre d'environ 217, et desservis pour la plus grande partie par des téléphones, ne peuvent être utilisés que pour les communications d'affaires ou particulières du propriétaire.

En résumé, le nombre des bureaux de poste, qui était de 7.068 à la fin de 1878, s'est élevé à 9.143 à la fin de 1881, soit une augmentation de 2.074 ou de 29,35 p. 100; le nombre des bureaux télégraphiques a augmenté pendant la même période de 4.143 à 5.896, soit une augmentation de 1.753 ou de 42,31 p. 100. Il y a donc un bureau de poste par 48,6 kilomètres carrés et 4.155 habitants et un bureau télégraphique par 75,3 kilomètres carrés et 6.441 habitants.

. . . .

7. Réseau télégraphique.

a. Lignes aériennes.

La longueur des lignes aériennes qui, à la fin de mars 1879, était de 48.179 kilomètres, s'était, à la fin de mars 1882, élevée à 56.587 kilomètres, soit, pour la période triennale, une augmentation de 8.392 kilomètres, dont 7.916 pour les lignes aériennes ordinaires et 476 pour les communications téléphoniques urbaines.

Quant au développement des conducteurs aériens, il était, à la fin de mars 1879, de 163.887 kilomètres et, à la fin de mars 1882, de 184.379. Il a donc été posé 20.492 kilomètres de nouveaux conducteurs, dont 16.722 pour les lignes aériennes ordinaires et 3.770 pour les commnnications téléphoniques urbaines.

L'accroissement des lignes télégraphiques aériennes pendant les trois dernières années est, en chiffre rond, de 16 p. 100, et celui des conducteurs de 10 p. 100, comparativement à l'état du réseau à la fin de mars 1879. Les lignes et les conducteurs des communications téléphoniques urbaines n'ont pas été compris dans ces chiffres. L'établissement de ces communications a commencé seulement dans l'automne de l'année 1880.

Des lignes télégraphiques existant à la fin de mars 1882, 20.782 kilomètres de lignes, avec un développement de conducteurs de 122.013 kilomètres, sont posés le long des chemins de fer. En dehors de ces 122.013 kilomètres de fils, les poteaux de l'administration supportent encore les fils pour le service des chemins de fer, qui ont une longueur totale de 58.195 kilomètres.

L'établissement des nouvelles lignes et conducteurs réclamé par la création de nouveaux bureaux est accompagné en même temps de la construction des lignes parallèles nécessaires pour l'écoulement du surcroît de la correspondance. Les frais de ces constructions sont pris sur les recettes courantes. Pour l'augmentation des lignes et des conducteurs pendant la dernière période triennale, y compris les lignes téléphoniques urbaines, on a employé, en matériel, 125.700 poteaux en bois, 5.200 supports en fer, 330.000 isolateurs en porcelaine et 1.824.000 kilogrammes de fil de fer ou d'acier.

Tous ces matériaux ont été pris dans le pays.

La préparation des poteaux pour les nouvelles constructions, ainsi que pour l'entretien des lignes déjà existantes, s'est effectuée dans des chantiers de l'État, par des agents del'administration des télégraphes. Il y a eu, en 1879, 12, en 1880, 13, et en 1881, 9 chantiers de préparation où l'injection des poteaux au sulfate de cuivre s'est continuée depuis le mois de mars jusqu'au mois de novembre. Le nombre des poteaux préparés dans ces chantiers s'est élevé aux chiffres suivants :

1879	64.075	pièces, représentant	12.988	mètres cubes.
1880	60.965	—	13.699	—
1881	37.862	—	8.499	—

Le prix des bois préparés, livrés franco au chantier, s'est élevé, par mètre cube, en 1879, à 27,76 marks; en 1880, à 25,98, et en 1881, à 24,72, ce qui, pour un poteau de 8,5 mètres de longueur, donne respectivement des prix moyens de 7,33, 6,54 et 6,29 marks.

La préparation des bois dans les chantiers de l'État, entreprise par l'administration des télégraphes depuis 1872, a donné des résultats satisfaisants sous tous les rapports. Les résultats financiers sont également favorables. Comparés à la période triennale 1876-1878, les frais d'acquisition des bois bruts et de la préparation ont, dans la période de 1879 à 1881, diminué en moyenne de 15 p. 100, en partie par suite de l'abaissement du prix des bois et en partie aussi par suite de l'expérience acquise par les fonctionnaires qui dirigent ces chantiers.

L'extension du réseau télégraphique de l'Empire et l'établissement des lignes téléphoniques urbaines ont occasionné une dépense de 3.647.365 marks, dont 2.604.707 pour les lignes aériennes ordinaires et 1.042.658 pour les lignes et conducteurs des communications téléphoniques urbaines. Sur cette somme totale, 1.380 099 marks ont été pris sur des crédits extraordinaires et 2.267.266 sur le budget ordinaire, ainsi que sur les recettes courantes.

L'entretien, ainsi que le déplacement de quelques parties du réseau aérien, a exigé une dépense de 5.077.720 marks, à savoir, 3.893.970 pour l'entretien et 1.183.750 pour les déplacements. Ces dépenses n'ont pas dépassé les limites prévues d'après l'expérience.

L'on a posé de nouveaux poteaux jumelés sur une longueur de 688 kilomètres pour remplacer les lignes de poteaux simples, surchargés de conducteurs. A la fin de l'exercice de 1878-79, il existait 1978 kilomètres de poteaux jumelés (ou de doubles rangées de poteaux); à la fin de l'exercice de 1881-1882, cette longueur s'était élevée à 2.666 kilomètres. L'emploi sur une plus grande échelle des poteaux jumelés est également devenu nécessaire, par suite de l'augmentation des fils télégraphiques du service des chemins de fer que doivent recevoir les poteaux de l'administration placés le long des voies ferrées.

b. Lignes souterraines.

Les grandes lignes souterraines avaient, à la fin de mars 1879, une longueur de 2.487 kilomètres de lignes, avec un développement de conducteurs de 16.740 kilomètres. A la fin de mars 1882, cette longueur était de 5.470 kilomètres de lignes et de 37.420 kilomètres de conducteurs. Il a donc été posé, dans les trois dernières années, 2.983 kilomètres de nouvelles lignes souterraines, ayant un développement de 20.680 kilomètres de fils.

Le programme tracé en 1876 pour la création d'un réseau télégraphique souterrain est maintenant entièrement réalisé, et cela deux ans plus tôt que ne le prévoyait le rapport pour la période triennale de 1876 à 1878. Le travail non interrompu des maisons allemandes chargées de la fabrication des câbles et l'utilisation complète des saisons propices aux travaux de la pose ont rendu ces résultats possibles, bien qu'on ait dépassé les prévisions du programme en établissant, de Thorn à Danzig, entre les deux lignes souterraines de Berlin-Danzig-Kœnigsberg et de Berlin-Thorn, une ligne de jonction qu'il ne comportait pas.

Le réseau télégraphique souterrain comprend maintenant les lignes suivantes :

1° Berlin-Halle sur Saale-Francfort sur le Mein-Mayence.
2° Francfort sur le Mein-Strasbourg en Alsace.
3° Strasbourg en Alsace-Metz.
4° Berlin-Magdebourg-Hanovre-Cologne-Aix la Chapelle.
5° Cologne sur Rhin-Coblenz-Trèves-Metz.
6° Halle sur Saale-Leipzig (ligne d'embranchement).

7° Cologne sur Rhin-Barmen (ligne d'embranchement).
8° Coblenz-Mayence (ligne de jonction).
9° Berlin-Dresde.
10° Berlin-Hambourg (câble I).
11° Berlin-Hambourg (câble II).
12° Hambourg-Kiel.
13° Hambourg-Brême-Oldenbourg-Emden.
14° Hambourg-Cuxhaven (ligne d'embranchement).
15° Brême-Bremerhaven (ligne d'embranchement).
16° Brême-Wilhelmshaven (ligne d'embranchement).
17° Berlin-Stettin-Cöslin-Danzig-Kœnigsberg en Prusse.
18° Berlin-Cüstrin-Posen-Thorn.
19° Thorn-Danzig (ligne de jonction).
20° Berlin-Francfort sur l'Oder-Glogau-Breslau.

L'ensemble des travaux de tout le réseau souterrain a pris fin le 26 juin 1881 par l'achèvement de la ligne de Cologne à Aix-la-Chapelle.

Le tout a exigé environ 58 mois et, en chiffre rond, 30 millions de marks. Le programme primitif avait prévu une dépense de 34 millions de marks. Les câbles relient entre elles 221 villes, comprenant les places militaires et commerciales les plus importantes du territoire de l'Empire. Elles traversent les plus grands fleuves de l'Allemagne. Le poids total des câbles souterrains est de 12.829.400 kilogrammes, dont 10.169.930 kilogrammes pour les armatures de fer, 823.000 pour les fils de cuivre et 1.836.470 pour la gutta-percha et l'enveloppement. Il a été employé 383.000 kilogrammes d'asphalte.

Quand aux câbles fluviaux, il en a été immergé 70, dont la longueur totale est de 11.116 mètres. La jonction des âmes de câbles a nécessité 5481 soudures.

La grande utilité d'un réseau souterrain pour la sécurité des communications, en Allemagne, s'est affirmée de plus en plus et a été universellement reconnue, même à l'étranger, où l'hiver dernier, encore, les dommages causés par les tempêtes aux lignes aériennes, qui y sont les seules disponibles, ont, à différentes reprises, causé des interruptions prolongées des communications télégraphiques, au grand détriment du commerce et de l'industrie.

L'on a également commencé à établir des lignes souterraines dans les grandes villes, pour y remplacer les lignes aériennes, qui sont souvent une entrave à la circulation publique. Ce changement s'est notamment effectué là où les bureaux télégraphiques pouvaient être installés dans des bâtiments de l'État affectés au service des postes et des télégraphes.

En ce qui concerne Berlin, la grande circulation a fait ressortir la nécessité de prendre des mesures spéciales, pour remédier aux inconvénients des dépavements des rues nécessités par les réparations de câbles. A cet effet, on a établi des canaux maçonnés et l'on a enfoui sous les trottoirs des tuyaux en fer dans lesquels les câbles sont ensuite introduits au moyen de puits de repère. Les canaux et tuyaux ainsi établis à Berlin ont une longueur d'environ 34 kilomètres. Le nombre des puits de repère est de 155. Les frais de ces travaux, si importants pour assurer les communications télégraphiques de la capitale de l'Empire, se sont élevés à 250.000 marks.

Les lignes souterraines urbaines, ainsi que les câbles qui traversent les tunnels et les fleuves, sont considérés comme des organes intermédiaires du réseau aérien et compris, en ce qui concerne leur étendue, dans les indications de longueur de ce réseau.

c. *Lignes sous-marines.*

Le réseau sous-marin a une longueur de 233.04 kil. de lignes et un développement de conducteurs de 342.61 kil. Il comprend :

	Longueur des lignes.	Développement des conducteurs.
1° Le câble suédo-allemand entre l'île de Rügen et la côte suédoise de Trelleborg, appartenant en commun à l'Allemagne et à la Suède, à chacune pour la moitié de sa longueur totale, qui est de 72,70 kilomèt.	36,35	109,05
2° Le câble dano-allemand entre Alsen et la Fionie, propriété commune de l'Allemagne et du Danemark, chaque pays pour la moitié de la longueur totale (11,12 kilomèt.).	5,56	16,68
3° Les câbles reliant au continent et entre elles les îles de la Frise septentrionale et orientale, avec traversée de bras de mer. . . .	191,13	216,18
Totaux.	233,04	342,61

Il y a lieu de mentionner, en outre, au titre des communications sous-marines de l'Allemagne :

I. Le câble immergé dans la mer du Nord entre Hoyer et Arendal, en passant par l'île de Sylt, et qui établit une communication directe entre l'Allemagne et la Norvège. Longueur de ligne, 465,80 kilomètres, et développement des conducteurs, 1397,40 kilomètres.

Cette communication a été établie, sous les auspices de l'administration des télégraphes allemands, par la « Gesellschaft für Legung und Unterhaltung des Deutsch-Norwegischen unterseeischen Kabels ». Le câble, qui a un poids de 1.400.000 kilogrammes et dont la pose a été achevée le 30 août 1879, a été ouvert au service le 5 septembre de la même année. Il est exploité en location par l'administration allemande, qui, au moyen d'un amortissement graduel du capital d'établissement, en deviendra un jour propriétaire.

II. Le câble d'Emden-Borkun-Lowestoft (Angleterre), appartenant à la « Vereinigte Deutsche Telegraphen-Gesellschaft », d'une longueur de 416,25 kilomètres de ligne avec 1665 kilomètres de fils conducteurs.

III. Le câble de Norden-Norderney-Lowestoft, appartenant au gouvernement britannique, 429,66 kilomètres de ligne avec 1718,65 kilomètres de conducteurs.

IV. Le câble de l'île de Neuwerk à l'île d'Héligoland, appartenant à la « Hamburg-Helgolander-Telegraphen-Gesellschaft », 59,20 kilomètres de ligne et 59,20 kilomètres de fils.

V. Les câbles de la marine impériale allemande sur les côtes de l'Empire, en tant qu'ils peuvent être utilisés par l'Administration des télégraphes, 38 kilomètres de lignes avec même longueur de fils.

Les communications télégraphiques entre le continent et les îles de la Frise septentrionale sur la côte occidentale du Schleswig-Holstein avaient été reconnues insuffisantes. De sérieuses détériorations des câbles, qui n'étaient pas partout de nature à résister aux conditions défavorables des bas-fonds, avaient occasionné de fréquents dérangements. Il a donc paru désirable de relier ces îles non pas seulement avec le continent, mais aussi entre elles au moyen de câbles d'une construction plus solide, et offrant ainsi une plus grande sécurité

pour les communications. Ce résultat a été obtenu dans les limites des ressources financières. En 1880, l'on a posé de nouveaux câbles pourvus d'une gaine protectrice plus forte entre Südderfedderbüll (sur le continent) et l'île de Fœhr, entre cette île et celles d'Amrum, de Pellworm et de Nordstrand, et entre l'île de Nordstrand et Sterdebüll, sur le continent.

On a en même temps établi, au moyen d'un câble, une communication directe entre les îles d'Amrum et de Pellworm, qui n'étaient pas encore reliées directement. L'on peut maintenant correspondre, par télégraphe, avec les îles de Fœhr, d'Amrum, de Pellworm et de Nordstrand par deux voies, à savoir celles de Husum-Sterdebüll et de Emmelsbüll-Sudderfedderbüll.

Une communication sous-marine d'une très haute importante est celle qui a été effectuée, au printemps de 1882, entre l'Allemagne et l'Amérique. En vertu d'un contrat conclu entre l'Office des postes allemands et la « Vereinigte Deutsche Telegraphen-Gesellschaft », cette Compagnie a posé un câble sous-marin direct entre Greetsiel (près Emden) et Valentia (sur la côte occidentale de l'Irlande), où il se raccorde à un câble transatlantique dont l'usage est assuré pour longtemps à l'Allemagne.

L'ouverture de cette ligne au service, qui eu lieu le mois d'avril dernier, a donné satisfaction à ce désir, depuis si longtemps caressé, d'avoir une communication télégraphique directe entre l'Allemagne et l'Amérique.

12. Tarif télégraphique.

Le tarif pour la correspondance télégraphique intérieure (tarif par mot) n'a pas subit de changement depuis 1876 et n'a pas cessé de donner de bons résultats. La moyenne du nombre de mots par télégramme a, il est vrai, encore légèrement fléchi, mais elle paraît tendre maintenant à se rapprocher d'une limite fixe, comme le font ressortir les chiffres ci-après :

Moyenne du nombre de mots par télégramme.

En 1876	14,24
1877	13,24
1878	12,76
1879	12,26
1880	12,14

Suivant l'exemple de l'Allemagne, la Conférence télégraphique internationale, réunie à Londres en 1879, a également adopté le tarif par mot comme base de la perception des taxes dans le trafic international, ce qui constitue un acheminement marqué vers la simplification et l'unification des taxes internationales.

Sur la base des prescriptions du Règlement de Londres et à la suite des arrangements nouveaux conclus avec le Danemark, la Norvège, l'Autriche-Hongrie, la Suisse, la Grande-Bretagne et l'Irlande, la Suède, la Russie et l'Italie, il est devenu possible de diminuer dans une mesure considérable la multiplicité des différentes taxes applicables jusqu'alors au trafic télégraphique avec les États européens.

Dans la correspondance avec les pays limitrophes, il est perçu :

1° Pour les États reliés à l'Allemagne par des lignes terrestres, à savoir la Belgique, le Danemark, les Pays-Bas, l'Autriche-Hongrie et la Suisse, une taxe fixe de 40 pfennigs et une taxe par mot de 10 pfennigs.

2° Pour les États reliés au réseau allemand par des câbles sous-marins, tels que la Grande-Bretagne et l'Irlande, l'île d'Héligoland, la Norvège et la Suède, une taxe fixe de 40 pfennigs et une taxe par mot de 20 pfennigs.

Les taxes pour les autres pays ont également été simplifiées.

13. Service technique.

. . . . . Les clients habituels du télégraphe peuvent maintenant, en versant d'avance une somme considérable, régler par mois les taxes des télégrammes qu'ils déposent aux bureaux télégraphiques.

Les télégrammes à réexpédier par poste ou adressés « poste restante » sont maintenant remis généralement à la poste par les bureaux télégraphiques d'arrivée, sans frais pour l'expéditeur ni pour le destinataire.

Pour répondre aux désirs du public, il a été décidé que les frais d'exprès pour le transport des télégrammes au delà des lignes télégraphiques pourraient être acquittés d'avance par l'expéditeur, à raison d'une taxe fixe de 80 pfennigs. La même

faculté a été accordée relativement aux télégrammes avec réponses payées.

. . . . . La correspondance télégraphique de la presse a pris un essor considérable entre Berlin et les autres grandes villes de l'Empire et de l'étranger depuis que les journaux peuvent, sous réserve que le trafic général n'en souffre pas, disposer des lignes télégraphiques pendant les heures de la soirée et de la nuit, pour la transmission à prix réduit de nouvelles exclusivement destinées à la publicité.

Un assez grand nombre de journaux profitent de ces facilités, soit d'une manière permanente, soit seulement pendant les sessions du Reichstag ou du Landtag.

L'achèvement du réseau télégraphique, les améliorations et l'extension des communications téléphoniques joints à d'autres perfectionnements du domaine technique ont considérablement augmenté les facilités et la sûreté du service télégraphique.

La transmission à grandes distances a progressé par suite de l'introduction, tant sur les lignes souterraines que sur les lignes aériennes, d'un système perfectionné de translation avec emploi de relais Hughes.

L'état électrique et les conditions des lignes souterraines ne cessent de faire l'objet d'observations soigneuses et régulières; les résultats de ces observations se traduisent, dans l'exploitation des lignes, par l'introduction de mesures appropriées. Les lignes aériennes sont également soumises à des observations régulières, où les causes des dérangements de lignes résultant des influences atmosphériques sont soigneusement recherchées, ainsi que les mesures propres à y remédier aussi promptement que possible.

L'administration suit attentivement les progrès de la télégraphie technique et elle procède à des expériences approfondies pour rechercher les systèmes de transmission rapide qu'il conviendrait d'établir et d'utiliser.

Le système « duplex » est appliqué depuis déjà un certain temps avec succès.

Il a été apporté des perfectionnements aux relais Hughes ainsi qu'aux paratonnerres des poteaux, et l'on a adopté pour les téléphones les paratonnerres à spirale.

L'Administration a fait aussi et continue encore à faire des

essais pour l'application pratique de l'appareil multiple de Meyer.

En ce qui concerne la téléphonie urbaine, on a adopté des appareils combinés de façon à pouvoir être facilement installés dans les maisons des abonnés et dans les bureaux intermédiaires.

La disposition et l'arrangement des salles d'appareils ont aussi subi des améliorations dans un assez grand nombre des bureaux les plus importants; l'on y a introduit des tables d'appareils limitées à quatre places avec éclairage convenable, et l'on a rendu plus sûres et plus commodes les communications intérieures de ces bureaux en renfermant les fils dans des tuyaux de plomb placés sous les planches.

Par suite de la condensation considérable du réseau télégraphique, l'administration s'est vue obligée de procéder à une nouvelle réédition de la carte des lignes et fils télégraphiques de 1877. Pour obtenir la clarté désirable, malgré la densité du réseau, cette carte a été établie à l'échelle de 1/300.000 au lieu de l'échelle antérieure de 1/600.000. La nouvelle carte est actuellement achevée dans la plus grande partie; elle comprend 47 feuilles et paraîtra sous forme d'atlas.

Indépendamment de cette carte à grandes dimensions, il a été établi aussi une carte générale des ligues et fils télégraphiques affectés au grand trafic, à l'échelle de 1/800.000, qui a déjà été distribuée aux bureaux et aux services intéressés.

La publication d'une nouvelle édition, considérablement augmentée et complétée, de la liste des lignes et des bureaux télégraphiques de l'Empire constitue aussi un nouveau moyen d'employer et utiliser convenablement les ressources du service d'exploitation.

Pour assimiler autant que possible les prescriptions en vigueur pour la correspondance intérieure à celles du règlement du service international de Londres, qui sont applicables depuis le 1er avril 1880, le règlement télégraphique du 21 juin 1872 a été soumis à une revision, et le nouveau règlement, promulgué le 13 août 1880, est entré en application le 1er octobre suivant.

. . . .

15. Relations avec l'étranger.

. . . .

Le résultat principal de la conférence télégraphique internationale qui s'est réunie à Londres, en 1879, consiste dans l'adoption générale du tarif par mot pour la correspondance internationale.

En outre, les dispositions du règlement ont été complétées dans ce sens qu'il a été tenu compte, dans une plus grande mesure que précédemment, des exigences de la correspondance télégraphique à grandes distances, dont l'activité devient de plus en plus forte par suite de l'extension des communications sous-marines avec les pays lointains des autres continents. Enfin, l'on est arrivé à simplifier les dispositions réglementaires qui régissent l'acceptation et la transmission des télégrammes.

En ce qui concerne les tarifs, les propositions de l'Allemagne tendant à l'introduction d'un tarif unique n'ont pu prévaloir, parce qu'une partie des administrations, sans méconnaître les avantages d'une simplification complète, ont considéré cependant l'introduction d'une taxe unique comme n'étant pas encore possible en raison des intérêts particuliers en jeu. L'administration allemande poursuivra néanmoins le but qu'elle a en vue, et elle renouvellera à la prochaine Conférence, qui aura lieu à Berlin, en 1884, sa proposition d'adopter un tarif unique, d'abord seulement pour la correspondance européenne.

En vue de stimuler et de développer de plus en plus la correspondance avec l'étranger, l'administration, outre les communications sous-marines nouvelles de l'Allemagne avec la Norvège et l'Amérique, dont il a déjà été question plus haut, a aussi augmenté les communications directes avec les capitales, et respectivement avec les bourses et les places de commerce principales des États voisins. Les lignes affectées à la correspondance directe entre Berlin et Paris se sont accrues d'une nouvelle ligne, de sorte que le trafic réciproque de ces deux capitales dispose actuellement de quatre lignes les reliant sans intermédiaires. De plus, et en utilisant les ressources existantes de l'exploitation, il a été établi des communications

directes entre les bourses de Berlin et d'Amsterdam, ainsi qu'entre Berlin et Londres, par Amsterdam, qui sont desservies par l'appareil Hughes.

16. Téléphones et installations téléphoniques urbaines.

L'emploi du téléphone, dont la manipulation facile n'exige aucune connaissance préalable ni aucun exercice, et que, de tous les États de l'ancien et du nouveau monde, l'Allemagne a été la première à introduire dans le service télégraphique pour les besoins de la correspondance générale, a donné constamment des résultats satisfaisants, en sorte que, depuis 1879, le nombre des bureaux télégraphiques de l'Empire pourvus de cet appareil a pu être porté de 389 à 1279 stations. Ce succès a engagé l'administration à utiliser aussi cet appareil pour les relations entre les habitants des différentes parties d'une même ville, en donnant à tous ceux dont les habitations, les bureaux, etc., sont reliés à une station centrale (bureau intermédiaire) établie dans la localité par l'administration impériale, le moyen de converser directement ensemble par le téléphone. La station centrale est pourvue d'appareils qui permettent d'établir dans le plus bref délai la communication demandée par un abonné avec un autre. Les avantages de ce mode de communication, qui a été introduit en 1880, d'abord à Berlin et à Mulhouse en Alsace, sont généralement reconnus par le public. Beaucoup d'autorités gouvernementales et municipales ont aussi relié leurs bureaux au téléphone pour rendre plus rapides leurs relations officielles.

Le tableau suivant indique l'état des exploitations téléphoniques urbaines fonctionnant à la fin de mars 1882.

	NOMBRE des abonnés.	NOMBRE des installations téléphoniques.	NOMBRE des communications établies dans le courant d'une semaine.	LONGUEUR en kilomètres des lignes.	des fils.
Berlin	469	558	11.243	131	1.567
Breslau	36	60	407	66	209
Cologne s/Rhin	52	83	586	16	69
Francfort s/M.	120	179	2.196	31	163
Hambourg	374	493	6.839	58	896 28(*)
Altona	24	24	354	6	50
Magdebourg	37	45	1.266	8	69
Mannheim	104	139	2.161	42	165
Mulhouse en Alsace	94	100	1.453	31	106
Leipzig	113	144	1.502	61	317
Stettin	43	63	949	26	131
Total	1.466	1.884	28.956	476	3.770

(*) Fils de communication avec Altona.

Des communications fonctionnent aussi aujourd'hui, depuis le 1er avril dernier, à Elberfeld et à Barmen ; d'autres sont en construction à Crefeld, Hanovre, Brême, Strasbourg en Alsace et Dresde.

Pour l'établissement des communications téléphoniques urbaines, il a été dépensé, jusqu'au 1er avril 1882, y compris les frais d'achat et de montage des appareils, des piles, etc., la somme de 1.513.658 marks.

Il n'a pas été nécessaire de recourir à des crédits extraordinaires pour ces dépenses, et, dans la suite, les sommes nécessaires pour l'extension des lignes actuelles ou pour l'établissement de nouvelles installations urbaines seront portées au budget ordinaire de l'Empire, sous les rubriques des dépenses y relatives, qui seront augmentées en conséquence.

Les abonnés ont la faculté d'employer leurs téléphones pour adresser des communications au bureau central, qui les réexpédie par télégraphe ou par lettre à un destinataire quelconque résidant dans la ville même ou au dehors.

En outre, il a été établi dans quelques villes des bureaux téléphoniques publics où, moyennant une taxe de 50 pfennigs, toute personne peut parler pendant cinq minutes avec un

abonné quelconque. Des bureaux de ce genre ont également été ouverts dans les bourses de quelques villes, pour les clients de la bourse dont les bureaux ou les habitations sont reliés au réseau téléphonique urbain.

La taxe de l'abonnement au service téléphonique urbain est fixée à 200 marks par an. Pour les lignes de plus de 2 kilomètres, il est perçu une surtaxe annuelle de 50 marks, par chaque kilomètre ou fraction de kilomètre en sus. Ces taxes sont bien moins élevées que dans les autres pays, où généralement l'exploitation de ce service est concédée à des Compagnies privées. Défalcation faite des frais d'exploitation, ces taxes produisent néanmoins un excédent suffisant pour payer les intérêts des dépenses d'établissement.

17. Organisation du service des postes et des télégraphes à Berlin.

. . . . . Le nombre des bureaux télégraphiques de la capitale a été de 53 en 1879, de 69 en 1880 et de 74 en 1881, sur lesquels 2 seulement sont exclusivement affectés au service des télégraphes, les autres étant des bureaux mixtes de poste et de télégraphie.

. . . . . L'application de la lumière électrique à l'éclairage de la cour et du vestibule du bureau de réception des colis, dans la Spandauerstrasse, n°s 19/22, ayant donné des résultats satisfaisants, l'on a muni aussi d'un éclairage électrique es vastes locaux et la cour des bureaux des messageries de l'Oranienburgerstrasse, n° 70.

. . . . . . Le mouvement de la correspondance télégraphique des bureaux de Berlin se traduit par les chifres suivants :

	1879.	1880.	1881.
	—	—	—
Télégrammes expédiés.	1.554.091	1.775.282	2.038.328
— reçus.	1.187.983	1.334.841	1.517.351
— de transit.	5.009.557	5.596.902	5.739.661

Le nombre des appareils télégraphiques en fonctionnement a été de 424.

Le bureau central des télégraphes de Berlin est relié aux autres bureaux de la ville et de la banlieue ainsi qu'avec les

bureaux de l'extérieur par des lignes dont le nombre, y compris les grandes communications souterraines, s'élève actuellement à 269.

Sur ces 269 lignes, 37 sont affectées à la correspondance directe entre Berlin et les grandes villes de l'étranger, 75 desservent la correspondance avec les places principales de bourse et de commerce de l'Allemagne, 37 sont employées pour la correspondance avec les localités d'une importance secondaire et 26 pour la correspondance avec les petites localités des environs. Les autres lignes servent à la communication entre le bureau principal et les bureaux situés dans la ville et les faubourgs.

Les lignes à l'intérieur de Berlin sont pour la plupart des lignes souterraines. Pour éviter d'être obligé de dépaver les rues chaque fois qu'il s'agit de leur établissement ou de leur réparation, ces lignes sont enfouies dans des canaux maçonnés ou dans des tuyaux de fer. L'ensemble de ces canaux ou tuyaux a une longueur d'environ 34 kilomètres. Cette installation a coûté 250.000 marks. Le réseau télégraphique de Berlin comprend 150 kilomètres de lignes souterraines, avec 1334 kilomètres de fils, et 90 kilomètres de lignes aériennes, avec un développement de 240 kilomètres de fils, non compris les lignes téléphoniques.

Le réseau de la poste pneumatique a été augmenté de deux bureaux, dont l'un à Charlottenbourg, Göthestrasse, dans le bâtiment de machines nouvellement construit. Le nombre des bureaux de la poste pneumatique ouverts au service s'élevait, à la fin de 1881, à 25, avec 7 stations de machines.

Il a été expédié par la poste pneumatique :

	1879.	1880.	1881.	
	1.272.025	1.358.445	1.560.063	télégrammes
	149.084	186.937	217.332	lettres
	275.678	324.701	361.598	cartes postales pneumat.
soit en tout	1.696.788	1.870.083	2.138.893	communications.

Le service téléphonique, inauguré à Berlin le 1er avril 1881, s'est, eu égard au peu de temps qu'il existe et aux difficultés qu'il a rencontrées au début, acquis déjà la faveur du public,

qui en fait un usage de plus en plus fréquent. Au moment de son ouverture, on comptait 39 abonnés et 48 installations (y compris 9 téléphones au bâtiment de la bourse); à la fin de 1881, le nombre des abonnements s'élevait à 438 avec 506 installations; en outre, 78 abonnés ont demandé à l'administration d'établir des communications téléphoniques directes entre les habitations et leurs bureaux, ce qui nécessitera l'installation de 192 nouveaux appareils. De toutes les installations demandées, il y en avait, à la fin de l'année dernière, 618 en fonction. Le réseau téléphonique, à la fin de 1881, avait une longueur de 1601 kilomètres. Les communications demandées par certains abonnés pour leurs correspondances avec d'autres abonnés à Berlin s'effectuent par l'intermédiaire de 3 bureaux, d'où les lignes téléphoniques rayonnent dans les différentes directions. Le nombre moyen des communications établies par jour qui, au 1er avril 1881, n'était que de 72, s'élevait déjà à la fin de la même année à 1718. A la bourse, il existe un arrangement téléphonique qui permet aux abonnés (71 à la fin de l'année) de se mettre en communication pendant les heures de bourse avec les divers abonnés du service téléphonique général. En outre, il a été ouvert, avant la fin de l'année 1881, pour la correspondance générale, deux bureaux téléphoniques publics, au moyen desquels le public peut, moyennant un droit modéré, converser pendant quelques minutes avec tout abonné du réseau téléphonique général.

Dans le district rural de la direction supérieure des postes de Berlin, on compte 15 agences postales pourvues d'appareils téléphoniques pour le service de la correspondance télégraphique.

La téléphonie à grande distance.

Au début de ses études, M. Van Rysselberghe se proposait uniquement d'arriver à utiliser, pour des communications téléphoniques, le fil spécial établi entre l'Observatoire de Bruxelles et la station météorologique d'Ostende et destiné au service du

téléméléorographe du même inventeur, sans nuire au fonctionnement de ce dernier système. Le fil part de l'Observatoire, traverse aériennement la ville sur 1.000 mètres environ et aboutit, au bureau télégraphique du Nord, à un commutateur qui le relie à un câble ordinaire à 7 fils en service longeant la façade latérale du bâtiment de la station; de là, le conducteur passe sur les poteaux de la ligne de l'État, qu'il emprunte jusqu'à Ostende, où il pénètre dans le bureau télégraphique, et il repart aériennement dans la ville jusqu'à la station météorologique, à une distance de 1.300 mètres environ. Sur la ligne principale de Bruxelles (Nord) à Ostende (station), qui est longue de 122 kilomètres, le fil spécial est accompagné d'autres fils télégraphiques dont le nombre varie de 7 sur 42 kilomètres à 41 sur un kilomètre, et dont quelques-uns sont actionnés par les appareils Hughes, le reste l'étant par les appareils Morse. Sans entrer dans de plus longs détails sur ce point, il suffit de constater que trois des fils desservis par les Hughes suivent le fil téléphonique dans tout son parcours de Bruxelles à Ostende. On rencontre donc ici à un haut degré les circonstances perturbatrices qui ont amené les insuccès des expériences antérieures sur les lignes partant de la capitale.

Les premières recherches de M. Van Rysselberghe portèrent sur les moyens de renforcer l'intensité de la voix des téléphones récepteurs, afin de dominer les bruits étrangers. Se basant sur la théorie, il reconnut nécessaire de proportionner la résistance des téléphones à celle de la ligne et du circuit secondaire de la bobine d'induction, en exagérant même la résistance totale; il partait de cette idée que les courants dérivés des fils télégraphiques étaient tout autant à craindre que les courants induits, et qu'en conséquence un excès de résistance dans les téléphones ne nuirait pas à la reproduction vocale, au contraire, tandis quelle amoindrirait dans une grande mesure les courants nuisibles. D'un autre côté, il constatait la nécessité de réduire, dans les limites les plus étroites, la résistance électrique du circuit inducteur du départ, c'est-à-dire celle de la pile, du microphone transmetteur et du fil primaire de la bobine d'induction ; enfin, il écarta le téléphone pendant l'opération de la transmission.

A la demande de M. Houzeau, directeur de l'Oservatoire,

l'administration des télégraphes s'empressa de mettre à la disposition de M. Van Rysselberghe ses lignes, ses bureaux, son personnel et ses instruments, en vue des essais préalables à faire pour déterminer tous les éléments du problème. Les premières expériences en ligne eurent lieu le 16 janvier 1882 entre Bruxelles (Nord) et Anvers (Est), sur un fil de 44 kilomètres, prenant de part et d'autre la terre des bureaux télégraphiques. Malgré le vacarme produit dans les téléphones par les fils télégraphiques en travail, on put comprendre à Anvers quelques-unes des phrases prononcées à Bruxelles et recevoir exactement, sauf quelques erreurs, une longue série de nombres composés de un à cinq chiffres. Ce résultat était encourageant, car il n'avait pas encore été atteint, avec ce degré de précision, dans les expériences antérieures faites par les ingénieurs de l'État sur la même section, au moyen d'un seul fil et des appareils téléphoniques ordinaires.

Un jour, au bureau de Bruxelles (Nord), M. Van Rysselberghe constata avec surprise que l'un des fils télégraphiques Hughes allant vers Ostende faisait plus de bruit dans le téléphone qu'un autre de la même ligne qui, la veille, se distinguait au-dessus de tous les autres par son tapage : les rôles étaient renversés. La cause du phénomène était une simple transformation des fils d'un appareil Hughes l'un sur l'autre. Vérification faite, l'instrument le moins bruyant présentait à son manipulateur un défaut tel que les courants de la pile, au lieu d'être envoyés brusquement sur la ligne avec leur intensité habituelle, s'émettaient avec une force graduellement croissante. Cette simple observation, recueillie par un esprit sagace, donna la clef du problème cherché. Il fallait, non pas, comme comme on l'avait tenté jusqu'alors, neutraliser ou amoindrir les courants nuisibles dans le circuit téléphonique même, mais attaquer leur cause dans les circuits télégraphiques.

C'est là, en effet, la caractérisque du système de M. Van Rysselberghe : au lieu de détruire les effets, il cherche à enlever la source du mal.

Ce point bien établi, il ne fut pas difficile de trouver la formule du remède. L'arsenal des instruments électriques contient un outil aussi merveilleux dans ses effets que mystérieux dans sa théorie : c'est le condensateur, véritable panacée, qui

a rendu possible la transmission en sens inverse, et simultanément par un seul fil, de deux et même quatre dépêches télégraphiques, qui chante et parle à volonté. D'autre part, combiner des transmetteurs à émissions et extinctions graduelles des courants voltaïques n'était pas, pour l'inventeur du télé-météorographe, un obstacle bien sérieux.

Entre temps, et sans user d'aucun moyen préventif contre l'induction des fils télégraphiques, M. Van Rysselberghe réussissait à établir une correspondance journalière entre l'Observatoire de Bruxelles et la station météorologique d'Ostende. Sans doute, ce n'était pas parfait : les bruits anormaux conservaient leur intensité, mais les modifications apportées au transmetteur et les dispositions rationnelles de l'ensemble donnaient à la voix reçue une force et une netteté que les ingénieurs de l'administration n'avaient jamais pu obtenir des appareils ordinaires, dans des conditions de distance et de circuits plus favorables.

Au commencement d'avril, on essaya avec le plus grand succès la correspondance téléphonique sur un fil de la ligne souterraine de la ville d'Anvers, d'une longueur d'environ 1.150 mètres. Des quatre autres fils du même câble, deux fonctionnaient simultanément par les appareils Hughes et les autres par le Morse : les effets d'induction n'apportaient aucun obstacle à la communication verbale. On relia ensuite au fil du câble un fil aérien de Bruxelles (Nord), de façon à obtenir un circuit partant de la Bourse d'Anvers, passant par la station de cette ville, allant à Bruxelles par une ligne de poteaux et en revenant par une autre jusqu'à Anvers (station) ; total, 1.150 mètres de ligne souterraine et 88 kilomètres de parcours aérien. Le travail des fils télégraphiques, quoique dans son plein, n'interrompit pas l'entente ; il fallut seulement élever la voix devant le transmetteur et articuler nettement ; la parole parvint ainsi à se faire jour d'une manière intelligible. Dans ces deux expériences, les fils influençants n'avaient pas été munis du système anti-inducteur de M. Van Rysselberghe ; au contraire, dans les expérienes d'Ostende à Bruxelles (Observatoire) effectuées le 31 mai, en présence de MM. les Ministres Rolin, Graux et Gratry, les fils de la ligne télégraphique les plus bruyants avaient été armés de condensateurs tant à

Bruxelles (Nord) qu'à Gand et à Ostende; aussi ces essais ont-ils mieux réussi que tous les autres.

Indépendamment du fait en lui-même de la praticabilité d'une correspondance dans des circonstances où tous les moyens imaginés jusqu'ici avaient échoué, ce qui a frappé le public, c'est la possibilité de faire passer simultanément sur un même fil conducteur des dépêches verbales et des dépêches télégraphiques. Cependant, rien n'est moins extraordinaire : les dispositions prises par M. Van Rysselberghe au point de vue purement téléphonique avaient pour corollaire logique la probabilité du succès d'un essai par des appareils téléphoniques et télégraphiques à la fois. On peut dire que la correspondance Morse a été obtenue par surcroît. Les appareils et les combinaisons à employer furent rapidement trouvés par l'inventeur : il avait sous la main des condensateurs et des résistances artificielles, et cela lui suffit. Les courants téléphoniques directs, de même que les courants induits étrangers, ont une action nulle ou peu sensible sur les récepteurs télégraphiques ; les téléphones seuls craignent les télégraphes, et les premiers fonctionnent dans des circonstances où les derniers restent absolument inertes.

Les expériences faites jusqu'alors avaient porté sur des fils de l'intérieur; il était très intéressant de s'assurer si les combinaisons de notre compatriote pour le transmetteur et les récepteurs téléphoniques parviendraient à reproduire la parole à quelques centaines de kilomètres, *aux heures du repos des fils télégraphiques*. Les administrations belge et française s'entendirent pour prêter un fil de Bruxelles (Nord) à Paris (Centre). M. Van Rysselberghe profita de l'occasion pour expérimenter en même temps le travail par l'appareil Morse sur le même conducteur, et les dispositions suivantes furent prises le 16 et le 17 mai : de part et d'autre, on relia le fil à la terre des bureaux télégraphiques des deux capitales; on établit des condensateurs sur les fils de la même ligne les plus troublants, et on installa les postes téléphoniques et les postes télégraphiques Morse, modifiés en vue des émissions et des extinctions graduelles des courants. Le but, répétons-le, étant surtout de chercher à correspondre à grande distance à l'abri des influences perturbatrices des fils du voisinage, on choisit pour les essais la période de 4 à 8 heures du matin, pendant laquelle le tra-

vail télégraphique chôme ou est insignifiant. Il n'était donc pas nécessaire d'armer les fils voisins contre l'induction, et, dans tous les cas, l'on n'avait pu prendre aucune mesure contre les perturbations résultant des conditions particulières du bureau de Paris, conditions que les expériences elles-mêmes devaient mettre en lumière et qui furent reconnues singulièrement nuisibles à la correspondance téléphonique.

Le 16 mai, vers 4 heures du matin, les premières paroles prononcées à Paris par M. Van Rysselberghe se répétaient fidèlement à Bruxelles; le timbre de la voix était parfaitement conservé. La conversation se tint avec beaucoup de régularité pendant 3 heures. Vers 7 heures, les fils télégraphiques commencèrent à entrer en activité et, progressivement, le tapage augmenta dans les téléphones jusqu'à couvrir entièrement la voix des expérimentateurs à Bruxelles, mais non à Paris. Entre 7 et 8 heures, Bruxelles expédia par le fil conducteur simultanément la dépêche verbale et la dépêche télégraphique Morse, dont les journaux ont reproduit le texte, d'ailleurs inexact. Le lendemain, de grand matin, on recommença avec le même succès.

Dire que la correspondance a pu s'échanger à cette longue distance de 320 kilomètres aussi facilement que de l'extrémité à l'autre d'une ville serait une exagération manifeste. Personne n'y comptait et rien ne sert de forcer l'importance du résultat. L'inventeur avait atteint son but actuel : démontrer que son système avait une portée vocale considérable et reconnaître la possibilité de faire servir le même fil à la transmission simultanée de messages parlés et de messages télégraphiques. Le succès est certes très beau, mais il ne sera parfait que lorsque des expériences nouvelles, exécutées après l'appropriation complète des circuits télégraphiques suivant les idées de M. Van Rysselberghe, auront prouvé que la correspondance verbale est pratique pour de grandes distances *durant les heures d'activité de la correspondance télégraphique*, c'est-à-dire lorsque les résultats seront aussi brillants, par exemple, que ceux obtenus par le Morse et le téléphone sur le fil de Bruxelles à Ostende.

Pour un seul fil téléphonique partant de Bruxelles (Nord), l'appropriation de ce bureau doit être à peu près aussi importante que s'il s'agissait d'utiliser à la correspondance en double

tous les fils qui y aboutissent; la même obligation s'imposant pour chaque bureau relié, et même pour d'autres, on comprend que l'inventeur n'ait pu exécuter des essais préliminaires en s'astreignant aux dépenses qu'entraînerait l'exploitation de son système sur la majeure partie du réseau télégraphique. Lorsque les moyens préventifs, parfaitement connus dès maintenant, seront appliqués sur une plus grande échelle qu'ils ne l'ont été sur la ligne de Bruxelles à Paris, les expériences recommenceront; on a tout lieu d'espérer qu'elles seront concluantes.

Bruxelles, 4 juin 1882. J. BANNEUX.

Recherches sur le téléphone.

Par M. D'ARSONVAL.

Je me suis proposé de déterminer de quelle manière le fil d'un téléphone doit être disposé par rapport à l'aimant, pour agir sur la plaque vibrante avec le maximum d'effet.

Les résultats auxquels l'expérience m'a conduit me paraissent intéressants à signaler. Ils montrent, en effet, qu'en écartant toute idée théorique, la construction du téléphone doit être calquée sur celle des meilleures machines dynamo-électriques. Dès l'automne de 1877, ainsi que l'a rappelé M. du Moncel, j'avais observé qu'on augmente beaucoup la force du téléphone en faisant agir sur la plaque vibrante les deux pôles de l'aimant. J'avais remarqué aussi qu'il y a grand avantage, toutes choses étant égales d'ailleurs, à terminer l'aimant par des bobines plates très rapprochées. Ce dernier résultat ne pouvait être attribué à la surexcitation de l'aimant, puisque, dans les deux cas, sa force portante n'avait pas changé; elle était même un peu plus faible avec les bobines aplaties, que j'avais prises un peu minces.

Ce fait, que j'ai vérifié de nouveau, m'a conduit à penser que la partie vraiment active du fil était celle qui se trouvait logée entre les pôles de l'aimant. Les expériences faites par M. Marcel Deprez, à propos de la construction de notre galva-

nomètre, confirmaient cette idée. L'expérience suivante est enfin venue lever tous mes doutes.

Un aimant à pôles aplatis est disposé normalement sous une plaque téléphonique. Parallèlement à cette plaque et du même côté que l'aimant, je tends un fil métallique parcouru par un courant interrompu. Ce fil est mobile : il peut être placé, soit entre les pôles de l'aimant, qui sont très voisins, soit en dehors d'eux. L'expérience étant ainsi disposée, on constate que la plaque vibre avec force lorsque le fil est disposé entre les branches de l'aimant; la vibration est nulle ou à peine perceptible dans toute autre position.

Dans les téléphones à deux pôles (systèmes Gower, Siemens, Ader), on peut donc considérer comme une résistance inutile tout le fil qui ne se trouve pas situé entre les deux pôles.

Pour soumettre la totalité du fil à l'influence du champ magnétique, j'ai pensé à donner à ce champ une forme annulaire déjà employée par M. Klès pour les électro-aimants. Pour cela, un des pôles de l'aimant, terminé par un noyau cylindrique, porte la bobine; le second pôle a la forme d'un anneau qui enveloppe le premier. La bobine se trouve ainsi noyée dans un champ magnétique. Toute les lignes de force du champ se trouvent perpendiculaires à la direction du fil et subissent par conséquent au maximum l'influence du courant.

Ce résultat peut être obtenu par une foule de dispositions différentes, faciles à imaginer, étant donné le principe. Dans la pratique, je me suis arrêté à la suivante, comme étant tout à la fois la plus simple et la plus efficace.

L'aimant a la forme d'un élément de spire : cette disposition a l'avantage de concentrer les lignes de force dans l'espace annulaire, comme la forme circulaire adoptée par M. Ladd, il y a plus de vingt ans. Un des bouts de la spire porte le noyau cylindrique, l'autre est terminé en anneau. Ces deux pôles doivent être sur le même plan et très rapprochés de la plaque; la bobine est située dans l'espace libre.

Cette disposition permet, pour la plaque vibrante, un montage des plus faciles. La boîte métallique qui la porte est simplement serrée entre le pôle central et l'extrémité de l'aimant; aucune vis n'est nécessaire. Enfin, par une disposition très simple, mon habile constructeur, M. Ladislas Lenczewski,

est arrivé à supprimer les bornes d'attache du cordon conducteur.

L'instrument complet pèse seulement 350 grammes. Malgré ces faibles dimensions, la voix est transmise avec une extrême netteté et avec une force telle, qu'en munissant l'appareil d'un pavillon, on peut facilement l'entendre dans toute une salle.

L'ensemble de ces dispositions, supprimant tout travail et toute partie inutile, donne également les plus grandes facilités de construction.

Marteau-pilon électrique de M. Marcel Deprez.

Dans une conférence faite le 15 juin dernier dans le grand amphithéâtre du Conservatoire des arts et métiers, sur l'application de l'électricité à la production, au transport et à la division du travail, M. Marcel Deprez a fait fonctionner pour la première fois un marteau-pilon dont nous allons donner la description. Il a pour organe fondamental un solénoïde sectionné qui a été appliqué également à un moteur électrique, présenté par M. Deprez en juillet 1880 à la Société de physique.

Supposons que l'on place les unes sur les autres cent bobines plates de 1 centimètre d'épaisseur de manière à constituer un solénoïde unique de 1 mètre de hauteur, et que les fils d'entrée et de sortie de chacune d'elles soient reliés aux fils des bobines voisines, exactement de la même manière qu'ils le sont dans les sections consécutives d'un anneau de machine dynamo-électrique. Complétons enfin la ressemblance en faisant aboutir chaque jonction du fil d'une des bobines au fil de sa voisine à une lame métallique incrustée dans une règle isolante contenant autant de lames qu'il y a de bobines plus une. Sur cette espèce de collecteur, qui peut être rectiligne ou entouré sur un cylindre, faisons promener deux balais fixés à une pièce isolante que l'on fait mouvoir avec la main; si nous plaçons les deux balais à une distance telle que le nombre des lames du collecteur comprises entre eux soit, par exemple, égal à 10 et que nous leur imprimions ensuite, après les avoir rendus solidaires, un déplacement

quelconque, le courant entrant par l'un de ces balais et sortant par l'autre traversera toujours 10 bobines. Tout se passera donc comme si, au lieu de faire mouvoir les balais, nous faisions mouvoir le solénoïde constitué par la réunion de 10 bobines.

Cela posé, les balais étant dans une position quelconque, lançons un courant dans l'appareil et plaçons-y un cylindre de fer doux. En vertu d'une expérience bien connue, ce cylindre restera suspendu dans l'intérieur du solénoïde constitué par les 10 bobines, et son centre de figure se placera à une distance d'autant plus grande de celui du solénoïde que le courant sera plus intense. Nous supposons le courant assez intense pour que la distance des deux centres de figure soit de beaucoup inférieure à celle qui amènerait la chute du cylindre. Quand cette condition est remplie, on constate que le cylindre de fer étant en équilibre, si l'on vient à l'en écarter, il faut lui appliquer un effort croissant avec l'écart, exactement comme s'il était suspendu à un ressort. Il résulte de ce fait que si l'on déplace les balais d'une quantité égale à l'épaisseur d'une lame du collecteur, le soléloïde actif subissant le même déplacement, son centre de figure s'éloignera de celui du cylindre de fer, et l'attraction exercée sur ce dernier augmentera. Elle ne pourra revenir à sa valeur primitive et l'équilibre ne pourra être rétabli que si le cylindre éprouve un déplacement identique à celui du solénoïde. Or, comme ce dernier dépend du mouvement imprimé à l'ensemble des balais, on voit que, en définitive, le cylindre reproduira fidèlement le mouvement imprimé aux balais par la main de l'opérateur.

Cet appareil constitue donc un véritable servo-moteur électrique, dans lequel le courant n'est jamais interrompu ni modifié en grandeur ou en direction, non plus d'ailleurs que l'aimantation développée dans le cylindre de fer doux.

Tout se passe comme si le cylindre de fer était suspendu dans un solénoïde de 10 centimètres de longueur, que l'on ferait monter ou descendre, avec cette différence que le poids du cylindre n'exerce aucune action sur la main de l'opérateur.

Il reste peu de chose à dire pour faire comprendre complètement le jeu du marteau.

Les sections élémentaires constituant le cylindre électrique du marteau sont au nombre de 80, formant une longueur totale de 1 mètre. Leurs fils d'entrée et de sortie aboutissent à un collecteur de forme circulaire. Les balais sont remplacés par deux lames fixées à une double manivelle mobile autour d'un centre fixe; elles peuvent faire entre elles un angle quelconque, de façon que l'on puisse donner par tâtonnement au solénoïde actif la longueur la plus convenable. Quand cet angle a été déterminé, on le rend invariable au moyen d'une vis de pression, et l'on manœuvre l'appareil en imprimant à la double manivelle un mouvement circulaire alternatif.

Le cylindre en fer pèse 23 kilogrammes; mais lorsque le courant a une intensité de 43 ampères et lorsqu'il traverse 15 sections, l'effort développé peut atteindre 70 kilogrammes, c'est-à dire trois fois le poids du marteau. Aussi ce dernier obéit-il avec une docilité absolue aux mouvements de la main de l'opérateur, ainsi qu'ont pu le constater les personnes qui assistaient à la conférence.

Dans les expériences faites au Conservatoire, ce marteau-pilon était placé en dérivation sur un circuit qui servait à alimenter également trois machines Hefner-Alteneck (modèle Siemens D_5) et une machine Gramme (modèle Bréguet PL.). Chacune de ces machines faisait 1.500 tours par minute et développait 25 kilogrammètres par seconde, mesurés au moyen d'un frein Charpentier.

Tous ces appareils fonctionnaient avec une indépendance absolue et avaient pour génératrice la machine à double excitation qui figurait à l'Exposition d'électricité.

Dans une expérience faite postérieurement, M. Marcel Deprez a réussi à faire développer à chacune des quatre machines 50 kilogrammètres par seconde, quel que fût le nombre de celles qui étaient en marche, et a pu ajouter encore en dérivation le marteau-pilon sans affecter notablement la marche des récepteurs.

(Extrait de la *Lumière électrique.*)

Sur les courants électriques du sol.

On sait que les premières études sur les courants terrestres, entreprises suivant la théorie ampérienne du magnétisme, remontent à près de 35 ans (Barlow, 1847), et qu'elles furent plusieurs fois répétées, surtout en Angleterre et en Italie. On se servit presque toujours des lignes télégraphiques, en interrompant la communication avec les piles, et mettant les deux extrémités de chaque ligne en plein contact avec le sol au moyen de plaques métalliques (cuivre, fer ou zinc). On obtenait ainsi un courant dérivé, et un galvanomètre introduit dans la ligne télégraphique en indiquait la direction et l'intensité.

Les résultats obtenus ont été différents et souvent contradictoires, les conclusions rares et indécises. M. Ign. Galli a imaginé une méthode d'observation qui paraît donner de meilleurs résultats. Voici en quoi elle consiste:

Dans un rez-de-chaussée, bien sec et bien à l'abri du soleil et de la pluie, on choisit trois points formant un triangle rectangle isocèle dont les côtés de l'angle droit, longs de 4 à 6 mètres, tombent l'un sur le parallèle et l'autre sur le méridien. Aux trois endroits désignés on creuse autant de trous d'au moins $0^m,50$, en s'assurant que le fond de ces trous se trouve au-dessous du plan horizontal, sur lequel s'appuient les fondements des murs. Au fond de chaque ouverture, on place une plaque de cuivre argenté de forme carrée, avec un côté de $0^m,20$, et disposée de manière que les diagonales soient l'une horizontale et l'autre verticale. A l'angle supérieur, on doit souder un gros fil de cuivre, qui soit plus long que la profondeur même. La plaque, la soudure et le fil doivent être couverts par une forte couche d'argent d'après la méthode galvanique. On remplit ensuite les ouvertures avec la terre même qui avait été retirée, en la pressant fortement. Enfin, à chaque bout de fil qui sort du sol, on ajoute avec une vis d'attache un autre fil de cuivre recouvert de gutta-percha, lequel doit être relié au galvanomètre, en évitant tout contact avec des objets métalliques. Le galvanomètre doit être à long fil et

très sensible. A l'extrémité libre de chaque fil, on pourra mettre un numéro ou une lettre de l'alphabet, qui servira à reconnaître promptement de quel côté du terrain provient le fil.

Si on désire explorer le courant entre le sol et l'atmosphère, on devra placer au sommet de l'édifice un cône en cuivre argenté. Un fil de cuivre, semblable aux trois autres, mettra la pointe du cône en communication avec le galvanomètre.

On peut obtenir par cette disposition quatre différentes mesures, c'est-à-dire: 1° entre le sol et l'atmosphère; 2° dans la direction du méridien; 3° dans celle du parallèle; 4° dans une troisième direction intermédiaire.

Il faut observer que le sol n'ayant qu'une très faible propriété conductrice, les électrodes métalliques se polarisent quand le circuit est longtemps fermé.

L'étude comparative faite d'après les moyennes journalières des courants terrestres et de tous les faits enregistrés à l'Observatoire de Velletri a montré que les courants dérivés et mesurés d'après la méthode ci-dessus indiquée ne sont nullement modifiés par la pression atmosphérique et par la température.

Depuis que M. Galli emploie les plaques argentées, la direction des courants s'est manifestée toujours dans le même sens, et on doit les regarder comme de vrais courants dynamiques, parce qu'ils sont continus et capables de produire des effets spéciaux, comme l'électrolyse de l'eau, l'action des microphones, et d'augmenter la force et la précision des sons téléphoniques.

La marche suivie annuellement par les courants terrestres semble avoir de l'analogie avec la déclinaison du soleil, et il paraît aussi que son activité éruptive, si variable, y concourt énergiquement.

Mais la conséquence la plus importante de ces expériences, c'est qu'au lieu de plusieurs courants venant de directions différentes, il n'y en a qu'un seul, qui se dirige à peu près de E.-S.-E à O.-N.-O, et qui tantôt s'approche du parallèle et tantôt s'en éloigne. Les oscillations, presque toujours très lentes et périodiques, se produisent parfois rapidement, sans que l'in-

tensité absolue du flux électrique, c'est-à-dire suivant la ligne de direction, en soit altérée. Ce sont donc des déviations momentanées, qui coïncident le plus souvent avec les perturbations magnétiques. Malgré l'importance de ces résultats il est probable que l'on pourrait obtenir une plus grande exactitude si les deux éléments pouvaient être déterminés au moyen de deux paires de plaques indépendantes. Espérons qu'il sera donné à M. Galli de réaliser ce perfectionnement de sa méthode, ce que d'ailleurs il se propose de faire. C. M.

(*Les Mondes.*)

Le Gérant : Dunod.— Imprimerie C. Marpon et E. Flammarion, 26, rue Racine

ANNALES
TÉLÉGRAPHIQUES

Année 1882 **Septembre-Octobre**

SUR LES
MÉTHODES EMPLOYÉES JUSQU'A CE JOUR
POUR LA DÉTERMINATION DE L'OHM. (*)

PAR M. WIEDEMANN.

Le Congrès des électriciens, réuni à Paris dans le courant de l'automne de l'année dernière, a adopté comme unités fondamentales pour la mesure des constantes du courant galvanique les unités électro-magnétiques fondées sur le système centimètre-gramme-seconde, et a émis le vœu qu'une commission internationale spéciale fût chargée le plus tôt possible de la détermination de l'ohm comme unité de résistance. Cette question va donc être prochainement l'objet de nouvelles délibérations; aussi convient-il d'examiner, dans leur ensemble et au point de vue expérimental, les méthodes employées jusqu'ici et leurs causes d'erreurs. La théorie mathématique de ces méthodes est suffisamment établie.

(*) D'après l'*Électrotechnische Zeitschrift* (juillet 1882). — Revu et complété par l'auteur.



Mon but est particulièrement de provoquer une nouvelle discussion sur les moyens à employer pour les déterminations nouvelles, discussion qui doit être d'autant plus approfondie et plus rigoureuse, que les unités, une fois déterminées, ne doivent pas de longtemps être changées à la suite de nouvelles expériences.

On sait que W. Weber, à qui nous devons les faits fondamentaux sur lesquels repose cette détermination, a donné quatre méthodes pour mesurer en unités électromagnétiques la résistance d'un conducteur donné.

I. Un fil métallique enroulé en anneau de dimensions connues subit une rotation d'un certain angle autour d'un axe vertical (et, par conséquent, incliné sur la direction du magnétisme terrestre); l'intensité du courant induit dans ce conducteur est mesurée au moyen d'un galvanomètre de dimensions également connues. Toutes choses égales d'ailleurs, cette intensité est inversement proportionnelle à la résistance du circuit.

II. Au lieu de mesurer les dimensions du galvanomètre, comme dans la première méthode, on détermine l'action exercée sur l'aiguille aimantée par l'unité de courant traversant un multiplicateur, en observant l'amortissement des oscillations de l'aiguille sous l'influence des courants induits développés par un mouvement dans le fil.

III. On fait osciller une aiguille aimantée dans un multiplicateur, de dimensions connues, fermé sur lui-même, et on détermine l'amortissement de ses oscillations.

IV. On imprime à un anneau circulaire, autour duquel est enroulé le fil, un mouvement de rotation uniforme autour d'un diamètre horizontal ou vertical, et on détermine la déviation d'une aiguille aimantée suspendue au centre du circuit, sous l'influence des courants induits

dans le fil par le magnétisme terrestre pendant la rotation.

Dans la réalisation de ces méthodes, chacune des diverses mesures comporte nécessairement des causes d'erreurs ; il en résulte que la plus parfaite est celle où le nombre des constantes à déterminer est le plus petit possible et dans laquelle cette détermination peut se faire avec le plus de sécurité. Les méthodes III et IV paraissent donc, au premier abord, offrir des avantages particuliers.

Nous allons nous occuper d'abord de la quatrième méthode, et nous signalerons, dans sa réalisation, une série de causes d'erreurs, qui affectent également en partie les autres. Cette méthode a été employée notamment par la commission de l'Association Britannique instituée à cet effet en 1863.

Une bobine de fil métallique étant animée d'un mouvement de rotation autour d'un axe vertical, il s'y développe des courants induits, dont l'intensité pendant l'unité de temps est directement proportionnelle à la composante horizontale du magnétisme terrestre et à la variation de la projection de l'aire des tours de fil sur le plan vertical perpendiculaire à cette composante, et inversement proportionnelle à la résistance de la bobine.

Mais, en outre, les spires traversées par les courants d'induction ainsi produits agissent les unes sur les autres, et il se développe des extra-courants dont la force électromotrice est proportionnelle à la variation de l'intensité des courants induits directement pendant l'unité de temps ; l'effet de l'induction dans la bobine se trouve ainsi diminué. L'action totale de tous les courants induits dans la bobine détermine la déviation de l'aiguille.

Pour la détermination de la résistance absolue de la bobine, il faut se préoccuper des points suivants :

1. La mesure de l'espace enveloppé par les tours de fil, aire à laquelle, toutes choses égales d'ailleurs, l'induction est proportionnelle, aussi bien que celle de sa forme géométrique, dont dépendent, d'une part, les extra-courants induits, et, d'autre part, le couple de rotation exercé sur l'aiguille aimantée placée en son centre.

Ces déterminations présentent des difficultés toutes particulières.

Si l'on choisit du gros fil pour l'enroulement de la bobine, son diamètre, en y ajoutant l'épaisseur de l'enveloppe isolante, doit être une partie aliquote de la largeur intérieure du cadre destiné à l'enroulement, qu'il faut mesurer très exactement; dans le cas contraire, les couches successives exercent les unes sur les autres des pressions plus ou moins fortes, qui donnent lieu à des déplacements latéraux. D'autre part, comme l'établit W. Siemens (*), par suite de l'enroulement, le fil s'allonge d'autant plus fortement que son diamètre est moindre, l'allongement pouvant atteindre jusqu'à 6 p. 100. En outre, l'enveloppe isolante du fil subit une compression. Si elle est formée de gutta-percha compacte ou d'une matière analogue, cet effet est moins sensible qu'avec la soie ou le coton.

Plus le fil est fin, plus s'accentuent les défectuosités dues à la pression mutuelle des couches, à l'allongement pendant l'enroulement, à la compression de l'enveloppe, qui devient de plus en plus prépondérante par rapport au diamètre du fil. Il n'est donc pas permis de calculer l'espace enveloppé par les tours de fil en se contentant

(*) *Annales de Poggendorff*, 1866, vol. 127, p. 327.

de mesurer le diamètre de la bobine et la longueur du fil avant son enroulement ou après son dévidement.

De ce fait, il résulte, comme W. Siemens le remarque avec raison, que la mesure exacte de la longueur d'un fil d'environ $1^{mm},1$ de diamètre exécutée à $0^{mm},1$ près, comme dans les premiers essais de l'Association Britannique, ne pouvait conduire à un résultat sérieux.

La mesure du diamètre intérieur des tours de fil, c'est-à-dire du diamètre du cadre sur lequel ils sont enroulés, peut s'effectuer sans difficulté dans toutes les directions, soit au moyen du cathétomètre, soit en mesurant la circonférence avec une lame d'acier inextensible à température constante. Mais la mesure du diamètre extérieur ou de la circonférence extérieure est beaucoup plus difficile, à cause des inégalités de l'enveloppe et de l'irrégularité de la surface. En admettant que l'erreur sur le diamètre moyen ne s'élève de ce chef qu'à $0^{mm},5$, évaluation très modérée eu égard à ce que nous venons de dire, il en résulte que, pour le cadre de 314^{mm} de diamètre employé par la commission de l'Association Britannique, l'erreur sur l'espace enveloppé par les tours de fil était déjà d'environ $\frac{1}{314} = 0,32$ p. 100. Pour diminuer le plus possible cette erreur, il faut, comme le conseillent W. Weber (*) et lord Rayleigh (**), choisir le diamètre des tours de fil aussi grand que possible, dans les limites où cette condition est compatible avec la régularité du mouvement de rotation. Il faut également que, pendant l'enroulement, le fil soit soumis à une traction aussi uniforme que possible, et il convient, après l'enrou-

(*) *Berichte der Königlich Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften*, 1880, page 77.
(**) *Proceedings of the Royal Society*, 1881, vol. 32, p. 122.

lement de chaque couche, de contrôler son diamètre extérieur.

Dernièrement, M. F. Kohlrausch a proposé d'éviter les difficultés qu'offre l'évaluation directe de l'aire des contours de l'hélice en faisant passer le même courant par une boussole de tangentes et l'hélice, puis en approchant cette dernière de la boussole jusqu'à ce que la déviation de l'aiguille soit réduite à zéro.

Une cause d'erreurs beaucoup plus importante consiste dans l'incertitude qui règne, par suite des motifs précédemment exposés, à l'égard des positions relatives des diverses spires, position dont dépend l'intensité des extra-courants qui se développent pendant la rotation. L'induction mutuelle des spires s'exerçant à de très petites distances, une erreur légère dans la mesure de leurs positions a une influence considérable.

Un autre élément d'inexactitude consiste en ce que, pour laisser passer le fil de suspension de l'aimant, la bobine se compose de deux portions parallèles juxtaposées, dont il faut déterminer très exactement le parallélisme et l'écartement. — Les extra-courants peuvent dénaturer les résultats dans des proportions très élevées; on peut s'en rendre compte par ce fait que, dans une expérience de la Commission de l'Association Britannique, la bobine tournant à grande vitesse, la position correspondant au maximum d'induction n'était pas déplacée de moins de 20°, et la correction, de ce chef, atteignait environ 8 p. 100.

Si l'on veut déterminer le coefficient de self-induction en comparant la bobine à une autre bobine de coefficient connu au moyen du pont de Wheatstone (*), il arrive

(*) Maxwell, *Traité*, vol. II, page 357; Brillouin, *Comptes rendus*,

qu'aux causes d'erreurs dues à l'appareil original s'en ajoute une foule d'autres fournissant matière à des discussions spéciales, en sorte que ce procédé peut donner des résultats extrêmement incertains. On pourrait aussi éliminer la self-induction en se servant de différentes vitesses de rotation. Dans tous les cas, la difficulté de la détermination exacte de la self-induction est le point le plus délicat dans la méthode en question.

2. La température de la bobine doit être appréciée avec une exactitude particulière, puisque, pour une élévation de température d'environ 1° C, la conductibilité du fil diminue d'environ 0,3 p. 100. Sa variation de longueur et la variation de l'espace enveloppé n'atteignent de ce chef que $\frac{17}{1.000.000}$; elles sont donc négligeables.

3. Dans le cas où le support de l'appareil est métallique, il faut rechercher si les courants qui circulent dans la bobine n'induisent pas dans ce support des courants secondaires agissant sur l'aiguille aimantée (*). En interrompant la continuité du support au moyen de substances isolantes, on peut s'en rendre compte. D'après les expériences de ce genre faites par lord Rayleigh et Schuster, cette influence n'exerçait pas un rôle capital dans les déterminations de l'Association Britannique (**). L'erreur n'atteignait que 0,16 p. 100 environ. Il est préférable, cependant, de former le support d'une matière isolante.

4. La vérification de la symétrie des spires par rapport à l'axe de rotation ne présente pas de difficultés spéciales; il suffit de viser, au moyen d'une lunette, des points

vol. XCIII, page 1010, 1881, *Ann. der Physik und Chemie*, *Beiblätter*, vol. VI, p. 39.

(*) F. Kohlrausch, *Annales de Poggendorff*, 1874, 6e Supplément, p. 9.

(**) Lord Rayleigh et Schuster p. 114.

correspondants du cadre des deux côtés de l'axe, dans des positions faisant l'une avec l'autre un angle de 180°.

5. Il n'y a pas non plus de difficulté pour déterminer par les méthodes optiques connues ou par une échelle si l'axe de rotation est et se maintient réellement vertical. Une déviation de l'axe par rapport à la verticale peut exercer une influence considérable. L'angle d'inclinaison étant environ $i = 70°$, si l'axe était penché de 0°,2 vers le nord ou le sud, la force inductrice de la terre varierait dans le rapport de cos 70° à cos (70°±0°,2), ce qui ne représente pas moins de 1 p. 100. Cette inclinaison correspond, dans le cas de la bobine de l'Association Britannique, à un déplacement des extrémités de l'axe d'environ $0^{mm},5$. Une vérification très précise est donc indispensable. De faibles déviations de l'axe vers l'est ou l'ouest n'ont qu'une influence insignifiante.

6. L'observation du nombre de révolutions de la bobine pendant l'unité de temps à l'aide des méthodes connues ne saura présenter de difficultés particulières, non plus que l'entretien d'une vitesse de rotation constante au moyen de dispositions mécaniques (*).

7. La mise de l'aimant au centre de la bobine tournante ne saurait non plus être difficile à réaliser. L'existence d'une très faible excentricité n'introduit pas d'erreur importante.

8. Le moment de l'aimant se détermine par la méthode des oscillations, au moyen de la mesure du moment d'inertie et de la composante horizontale du magnétisme terrestre, ou encore par la méthode de la déviation. Si, dans le but de rendre insensibles les effets d'induction de l'aimant sur la bobine, on emploie des

(*) Voir la disposition ingénieuse employée par lord Rayleigh, *loc. cit.*

aimants dont le moment soit très faible, ces méthodes comportent de nombreuses causes d'erreurs; car, dans la méthode des oscillations, l'influence du frottement de l'air devient relativement considérable, et dans celle de la déviation, il est indispensable de diminuer beaucoup la distance à laquelle l'aimant peut être placé.

Si le moment de l'aimant est très petit, ce moment, ainsi que la distribution (fort difficile à déterminer) de son magnétisme, a très peu d'influence sur les résultats. Si la distance des pôles de l'aimant au centre du plan médian de la bobine est plus petite que 1/6 de son rayon, et si la distance des pôles à ce plan n'excède pas 0,84 de la longueur de l'aimant, alors, jusqu'à une déviation de 56°, la force qu'il éprouve de la part d'un courant circulant dans la bobine est, toutes choses égales d'ailleurs, constante, à 0,0005 près.

9. L'installation de la lunette et de l'échelle nécessaires pour la lecture de la position de l'aimant et la correction des lectures peuvent s'effectuer à la manière ordinaire; on devra comparer une à une les parties de l'échelle avec une règle divisée servant d'étalon. La mesure exacte de la distance de l'échelle au point central autour duquel s'effectue la rotation de l'aimant, ou à la surface réfléchissante du miroir, présente une certaine difficulté.

10. La force de torsion du fil de suspension peut se comparer facilement à la force directrice de l'aimant, en laissant tourner d'un angle déterminé le fil fixé à un cercle de torsion et en observant la déviation de l'aimant. Si l'on emploie des aimants faibles, cette force peut être considérable, et les variations qu'elle subit inévitablement par suite des changements dans l'humidité de l'air peuvent atteindre une amplitude importante.

11. Il faut ensuite rechercher quelle influence les courants d'air et les trépidations exercent sur l'aiguille pendant la rotation, et, dans ce but, on fait tourner la bobine à circuit ouvert. Dans les premiers essais de la Commission de l'Association Britannique, au cours desquels, par suite de la nature des choses, on ne tenait pas encore compte de ces différentes conditions dans la mesure où il convient de le faire pour une détermination définitive de l'ohm, les dernières des causes d'erreur que nous venons de signaler se sont notamment manifestées à un haut degré.

En discutant ces expériences, F. Kohlrausch a fait ressortir avec raison que, pour diminuer le plus possible l'action inductrice de l'aimant sur la bobine, on ne lui avait donné, malgré la grandeur de sa masse (balle d'acier aimanté de 8 millimètres de diamètre), qu'un moment comparable à celui d'une aiguille aimantée extrêmement fine du poids de $0^{gr},025$. Cet aimant était attaché par un fil rigide de $0^{m},25$ à un miroir de 30 millimètres de diamètre, suspendu par un simple fil de cocon de 2 mètres de longueur. Dans ces conditions, les courants d'air dus au voisinage immédiat de la bobine tournante (éloignée seulement de $0^{m},310$) qui agissaient sur les surfaces relativement grandes du miroir et de l'aimant, ainsi que la torsion variable du fil, avaient une influence trop considérable, eu égard à la force directrice de l'aimant.

D'autre part, les trépidations de l'appareil pendant la rotation pouvaient se transmettre également à la cage entourant le miroir et montée directement sur le support ; il devait en résulter un mouvement de rotation de l'air et, par suite, du miroir. C'est ainsi qu'il arrivait que, suivant que la bobine tournait dans un sens ou dans

l'autre, on constatait dans les déviations successives des écarts de 8,5 p. 100. Lorsque les résultats moyens pour différentes séries d'observations ne différaient que de 2,3 p. 100, il ne fallait pas considérer ce chiffre comme garantissant une plus grande exactitude, mais conclure simplement que *l'appareil fonctionnait d'une manière à peu près régulière.*

L'élimination postérieure de certaines causes d'erreur, par exemple au moyen d'un calcul plus exact de l'effet de self-induction, comme celui qui est indiqué dans le mémoire de lord Rayleigh et Schuster, ne peut, en aucune façon, affranchir les résultats de l'influence des causes perturbatrices que nous venons d'indiquer. D'une façon générale, des observations de ce genre ne doivent jamais être corrigées en se fiant aux probabilités, sans disposer de données numériques parfaitement établies; autrement, on perd toute base expérimentale solide.

De ce qui précède, il semble résulter que les résultats de ces expériences ne peuvent être utilisés pour la détermination définitive de l'ohm, mais qu'il faut les considérer comme des données préliminaires de la plus haute valeur, propres à fixer notre attention sur les mesures de précaution à adopter.

Dans les recherches plus récentes entreprises par lord Rayleigh et Schuster avec l'appareil de l'Association Britannique modifié en quelques points, les difficultés signalées plus haut dans l'article 1 sont restées les mêmes; par contre, l'aimant a été changé et remplacé par quatre aiguilles aimantées de 5 centimètres de longueur, fixées sur les quatre arêtes horizontales parallèles d'un cube de liège. Le miroir était fixé directement sur le liège. Ici encore la force directrice de l'aimant se trouve être faible par rapport à l'influence des courants d'air, qui agissent

fortement à cause de l'étendue de la surface et de la faiblesse du moment d'inertie.

De plus, la cage qui protège le système suspendu est solidement fixée au tube de verre qui enveloppe le fil de suspension. Toutefois, il paraît difficile d'obtenir, même ainsi, une stabilité absolument parfaite, car, pour des rotations rapides, on observait des trépidations du miroir. Ces essais, comme les précédents, doivent être considérés plutôt comme des expériences préparatoires en vue de mesures ultérieures et définitives; à ce point de vue, elles ont été parfaitement conduites. On ne trouve encore nulle part de données suffisamment précises au sujet de la verticalité de l'axe, etc. Lord Rayleigh insiste sur l'opportunité d'avoir de nouvelles bobines pour les expériences définitives et se demande si l'on ne devrait pas disposer les tours de fil comme dans la boussole de Gaugain et Helmholtz, dans laquelle la force directrice des courants sur l'aiguille est indépendante d'un léger défaut de centrage et de la déviation de l'aiguille.

Pour les expériences définitives, qu'elles soient exécutées par cette méthode ou par une autre, il est en tout cas indispensable de posséder des données aussi complètes que possible sur chaque point particulier de l'installation et du fonctionnement de l'appareil. Les expériences ne doivent pas être faites avec un appareil installé et réglé une fois pour toutes, car les erreurs tenant à l'installation se répéteraient à chaque détermination. Il faut, au contraire, changer le plus souvent possible les conditions dans lesquelles l'appareil est établi. C'est ainsi seulement qu'on obtiendra des résultats indépendants les uns des autres et susceptibles de se contrôler mutuellement.

Les causes d'erreurs qu'entraîne l'emploi de la quatrième méthode, très difficiles à éliminer, notamment en ce qui concerne l'effet de self-induction, ont conduit M. W. Weber (*) lui-même, en collaboration avec feu F. Zollner, à reprendre, avec le secours des moyens expérimentaux les plus perfectionnés, la première méthode (employée en 1846 pour les premiers essais faits à titre préliminaire). Sur deux cadres d'acajou sont enroulées, avec beaucoup de soin et de régularité, ainsi que cela résulte de la mesure des différents diamètres, deux spirales égales, pesant environ 207 kilogr., et formées de fils de cuivre d'environ 3mm 1/3 d'épaisseur, recouvert de coton, et ayant une résistance d'environ 5 ohms. L'une des spirales formant le multiplicateur est fixée invariablement dans le plan est-ouest magnétique et entoure une aiguille aimantée cylindrique, de 100 millimètres de longueur sur 10 millimètres d'épaisseur. Le diamètre des tours de fil (intérieur 960 millimètres, extérieur 1040 millimètres, largeur de la bobine 254 millimètres) est assez grand pour que les forces magnétiques agissant sur l'aiguille puissent, sans erreur sensible, être considérées comme appliquées à leur centre. La seconde spirale, l'*inducteur*, est reliée à la première par des fils conducteurs; elle peut tourner autour d'un axe vertical d'un angle de 180° à partir de la position est-ouest. Cette rotation se produit d'une façon brusque, dans un sens et dans l'autre, à des intervalles tels que les courants induits dans l'inducteur et transmis à travers le multiplicateur produisent des déviations constantes de l'aiguille, soit par la *méthode de multiplication*, soit par la *méthode de recul*.

(*) W. Weber et F. Zöllner, *loc. cit.*

L'expérience montra qu'il n'était pas pratique d'employer une transmission de mouvement mécanique pour déterminer la rotation du cadre inducteur ; on le fit mouvoir à la main.

Le temps nécessaire à un déplacement, environ deux secondes, ne doit être qu'une petite fraction de la durée d'oscillation de l'aiguille aimantée placée au centre du multiplicateur. C'est pourquoi on prolongea cette durée jusqu'à trente secondes, en plaçant l'aimant sur un étrier auquel était fixé perpendiculairement à l'aiguille et dans une position horizontale, un tube de laiton de 272 millimètres de longueur, portant à ses extrémités des miroirs plans. Devant les deux miroirs se trouvaient des lunettes avec des échelles parallèles espacées de 4 mètres. Par cette double lecture, la mesure difficile de la distance des échelles aux miroirs était remplacée par les mesures plus faciles de la distance des échelles, l'une par rapport à l'autre, et de la distance mutuelle des miroirs.

Il est facile de discuter jusqu'à quel point les époques de rotation du cadre inducteur peuvent différer de celles qui sont fournies par le calcul, et de voir jusqu'à quel point cet écart éventuel peut influer sur les résultats (*). En tous cas, il est certain, d'après les expériences faites jusqu'à présent, que l'influence de cet écart n'était pas très considérable, car les chiffres obtenus à différentes reprises par l'emploi d'un aimant de 100 millimètres de long concordent entre eux à 0,06 p. 100 près, et que les résultats obtenus avec un grand aimant de 200 millimètres ne s'écartent pas de la

(*) Voir Chwolson, *Bulletin de Saint-Pétersbourg*, vol. II, p. 403; Suppléments, vol. V, p. 450; Dorn, *Annalen der Physik und Chemie* décembre 1874.

moyenne. Cela montre en même temps que l'appareil lui-même n'a pas subi d'altération notable dans l'intervalle. L'inducteur doit être placé assez loin du multiplicateur pour que les courants qui s'y développent ne puissent actionner directement l'aiguille.

C'est un point très important dans l'emploi de cette méthode que l'induction de l'inducteur sur lui-même est sans aucune influence ; en outre, l'intensité du magnétisme terrestre n'entre pas dans le calcul, pourvu que cette intensité soit la même au centre de l'inducteur et au centre du multiplicateur. Dans les salles d'expériences ordinaires, on ne peut pas toujours admettre cette égalité, à cause des pièces de fer qui sont fixées dans l'épaisseur des murs ; toutefois, cette condition est facile à réaliser dans les locaux disposés spécialement pour ce genre de recherches. On peut, du reste, au moyen des oscillations de l'aiguille aimantée, contrôler cette égalité, et, s'il y a lieu, déterminer le rapport des valeurs de la composante terrestre aux deux points.

Il est vrai que, pour compenser ces avantages, on a à mesurer les dimensions de deux bobines de fil, ce qui donne lieu à une double cause d'erreur. (Il faut remarquer d'ailleurs que, dans les expériences de la *British Association* dont il a été question plus haut, le cadre mobile se composait de deux moitiés séparées.) Cet inconvénient paraît bien petit à côté de l'erreur que l'on commet dans l'évaluation du potentiel de la spirale sur elle-même en employant la quatrième méthode.

Les grandes dimensions des cadres atténuent encore cet inconvénient. De plus, la stabilité de l'appareil et, par suite, la suppression des perturbations causées par les vibrations des courants d'air, etc., sont beaucoup plus

faciles à réaliser qu'avec le cadre à rotation rapide de la quatrième méthode.

Les appareils étaient montés de manière à pouvoir se servir du multiplicateur comme inducteur, et *vice versa*, ce qui permet d'éviter toute cause d'erreur.

Les communications faites jusqu'à ce jour au sujet des recherches entreprises avec cet appareil ne sont que préliminaires. C'est ce qui explique qu'elles ne contiennent pas d'indications plus précises sur les détails du réglage, à l'égard desquels le nom de W. Weber lui-même et celui de Repsold, le constructeur chargé du travail, fournissent d'ailleurs les plus entières garanties, pour ce qui concerne les points tels que la verticalisation de l'axe de rotation, le réglage de la spirale suivant la direction est-ouest magnétique, le dispositif pour obtenir une rotation de la bobine de 180° exactement, etc. Dans ces essais préliminaires, la circonférence du fond de la gorge des cadres d'acajou, ainsi que la circonférence extérieure des spires étaient mesurées au moyen de bandes de papier que l'on comparait ensuite à des règles en bois. Pour les mesures définitives, on emploiera certainement des procédés plus perfectionnés.

Un très grand avantage de cet appareil est de permettre des expériences répétées et indépendantes les unes des autres, car on peut sans grandes difficultés dérouler et enrouler de nouveau le fil sur les cadres.

Cette méthode convient donc tout particulièrement pour les déterminations définitives.

Dans la deuxième méthode de W. Weber, on n'a pas à mesurer les dimensions du multiplicateur, mais on observe l'amortissement des oscillations de l'aiguille, le circuit étant successivement ouvert et fermé. Ces obser-

vations, en y joignant la détermination de la déviation de l'aiguille par suite de la rotation de l'inducteur, permettent de calculer la résistance du circuit, en mesure électro-magnétique. Le multiplicateur doit ici envelopper l'aiguille de plus près, afin que l'amortissement soit suffisamment grand. Il faut, de plus, évaluer non seulement les dimensions de l'inducteur, mais encore la durée d'oscillation et le moment d'inertie de l'aiguille, ainsi que l'intensité de la composante horizontale du magnétisme terrestre. Les causes d'erreur de cette méthode ont été soigneusement examinées par Kohlrausch ; toutefois, l'erreur dans la mesure des dimensions de l'inducteur a peut-être été évaluée un peu trop bas. (Voir la méthode qui suit.)

Des appareils spéciaux et un local bien approprié sont nécessaires pour déterminer exactement l'intensité de la composante horizontale terrestre (*); mais, le cas échéant, cette méthode peut fort bien être employée concurremment avec la première méthode de Weber.

Dans la troisième méthode de W. Weber, très simple en apparence, on se propose de déterminer la résistance absolue d'un multiplicateur, et, pour cela, on observe l'amortissement des oscillations d'une aiguille aimantée placée à l'intérieur du cadre, les deux extrémités du conducteur étant successivement réunies et séparées. On a à évaluer la force électromotrice d'induction produite dans le multiplicateur par les oscillations de l'aiguille et son action réflexe sur l'aiguille, action directement proportionnelle à cette force électromotrice et en raison inverse de la résistance du cadre ; il faut donc

(*) Voir aussi les nouvelles méthodes de F. Kohlrausch, *Göttingen Nachrichten*, 4 mars 1882.



connaître les dimensions du multiplicateur, la position de l'aiguille par rapport au cadre et la distribution du magnétisme dans l'aiguille. Les premières déterminations sont très difficiles à faire exactement, car on ne peut donner aux spires de grandes dimensions si l'on veut un amortissement suffisant; quant à la dernière, elle ne peut se faire que d'une façon incertaine par l'observation des courants induits par l'aiguille dans une spirale courte déplacée entre diverses positions par rapport à l'aiguille, ou bien par de nombreuses observations des déviations d'une aiguille placée par rapport à l'aimant à des distances et dans des positions variables. Il faut encore s'assurer que l'amortissement des oscillations ne dépend pas de l'angle de déviation de l'aiguille (*).

Cette méthode a été employée par Fr. Weber, à Zurich (**), dans les conditions suivantes :

Un aimant de 80 millimètres de long, 20mm,1 de large et 21mm,1 d'épaisseur, suspendu par un fil de cocon, oscillait entre deux spirales coniques ayant un même axe, placées dans la direction de l'est-ouest magnétique, enroulées très régulièrement ; elles avaient 144mm,43 de rayon intérieur, 184mm,46 de rayon extérieur et 51mm,64 d'épaisseur. La distance moyenne de ces deux spirales était ou bien très petite, ou bien de 164mm,4 entre les plans médians, distance à peu près égale au rayon moyen des spires. Dans le dernier cas, la distance qui sépare les pôles de l'aimant n'a pas d'in-

(*) M. Down, dans des recherches non encore publiées, évite cette détermination en comparant le facteur de sensibilité d'une boussole de tangentes et du multiplicateur en y faisant passer le même courant avec des déviations appropriées.

(**) Fr. Weber, *Mesures électro-magnétiques et calorimétriques* (Zürcher et Fürrer, Zürich, 1878; *Beiblatter*, vol. II, p. 499).

fluence sensible, mais elle en a dans le premier; la distribution des moments dans l'aimant ne peut être négligée. Il faut faire entrer en ligne de compte, ici comme dans la quatrième méthode, des différences dans les mesures, qui sont inévitables par suite des irrégularités de l'enroulement et de la compression mutuelle des couches, qui acquièrent de l'importance en raison des faibles dimensions de la spirale. Malgré ces difficultés, on a obtenu, pour la valeur absolue de la résistance d'un étalon Siemens comparée par le pont de Wheatstone à la résistance des spirales mesurée dans les deux cas susmentionnés et après un nouvel enroulement, des chiffres qui varient, dans les trois séries d'expériences, de 0,9532 à 0,9570, de 0,9528 à 0,9555, et de 0,9527 à 0,9551; l'écart maximum étant donc de 0,5 p. 100 environ. La moyenne était 0,95451.

Dans des expériences postérieures faites d'après une autre méthode, Fr. Weber plaçait les spirales décrites plus haut à une distance déterminée l'une de l'autre, reliait l'une, l'*inductrice*, à un élément Daniell très constant et à un simple anneau de 168^{mm},7 de rayon; l'autre, l'*induite*, communiquait avec un multiplicateur, consistant en une spirale formée de deux moitiés juxtaposées de 154^{mm},2 de rayon intérieur et de 172^{mm},2 de rayon extérieur, entre lesquelles était suspendu un aimant de 40 millimètres de longueur muni d'un miroir. Entre les deux spirales se trouvait l'anneau circulaire du circuit inducteur. La déviation de l'aiguille, pendant qu'un courant constant traversait le circuit inducteur, mesurait son intensité J, qui devait être évaluée en mesure absolue d'après la connaissance des dimensions de l'anneau; la déviation, au moment où l'on ouvrait le circuit induc-

teur en supprimant le courant dans l'anneau, donnait l'intensité i du courant induit. La force électromotrice induite $e = JP$ peut se déduire en valeur absolue des dimensions des spirales, P étant le potentiel des spirales l'une par rapport à l'autre, si l'on fait la constante d'induction égale à l'unité; on en déduit la résistance du circuit induit par la formule $r = \frac{e}{i}$.

Cette détermination exige la mesure des dimensions : 1° de l'anneau métallique; 2° de la spirale inductrice; 3° de la spirale induite; 4° du multiplicateur; 5° de la distance des spires de la spirale inductrice et de la spirale induite; 6° la détermination de la position des pôles de l'aimant, sans compter les recherches nécessitées également par les autres méthodes, le centrage de l'aiguille, la mise en place, par rapport au méridien, des spires du multiplicateur et de l'anneau, etc. Comme on mesure les intensités du courant primaire et du courant induit par la déviation du même aimant, la composante horizontale du magnétisme terrestre n'entre pas dans le calcul. En somme, cette méthode présente plus que les autres des causes d'erreur pouvant compromettre la certitude des résultats.

Cependant Fr. Weber n'en a pas moins trouvé presque le même chiffre moyen de 0,9554 (entre 0,9589 et 0,9516) qu'auparavant, en déterminant la résistance du circuit d'induction et la comparant à l'étalon Siemens qu'il employait; ce chiffre a été obtenu avec deux éloignements différents des spirales inductrice et induite et avec deux intensités de courant inducteur (*).

(*) Une méthode indirecte de Fr. Weber consiste à observer l'échauffement d'un conducteur de platine en zigzag placé dans un calorimètre et traversé par un courant dont l'intensité est mesurée en valeur absolue

Cette méthode a également été employée par Rowland (*); seulement, il s'est servi d'une boussole des tangentes pour déterminer l'intensité du courant inducteur, et, pour mesurer l'intensité du courant induit, d'un galvanomètre spécial; il était alors nécessaire d'évaluer le rapport des intensités de la composante horizontale terrestre à la place occupée par chacun des deux appareils.

Ses trois spirales d'induction avaient environ $0^m,274$ de diamètre et étaient enroulées sur des bobines à joues de laiton épaisses; elles pouvaient se combiner deux à deux de diverses manières, de sorte que l'une d'elles servant d'inducteur, traversée par un courant constant et munie d'un interrupteur, pouvait occuper quatre positions moyennes différentes par rapport aux autres (de $6^{mm},5$ à $11^{mm},47$). On avait enroulé sur les bobines du fil de cuivre très fin (n° 22), ce qui augmentait considérablement les causes d'erreur exposées plus haut, provenant de la compression du fil isolant, du rapprochement des spires et de l'allongement du fil. Par suite du grand rapprochement des spirales d'induction, un défaut dans la mesure de leurs distances a une grande influence, d'autant plus que, comme on l'a vu, il n'est pas possible de contrôler sûrement la position des spires considérées isolément.

Bien qu'on mesurât la distance des spirales en divers endroits à 1/20 de millimètre près, et que la distance

par une boussole des tangentes de dimensions connues; on en déduit la résistance. Ce procédé peut à peine rentrer dans les méthodes directes, à cause de la difficulté que présentent les mesures calorimétriques. Cependant, Fr. Weber a encore trouvé par cette méthode par comparaison avec son étalon le chiffre de 0,9560, une différence de 0,1 p. 100 environ sur les résultats des autres déterminations.

(*) Rowland, *Sillimans Journal*, 1878 (3), p. 325 et 430.

moyenne en fût calculée à une approximation de 1/1000 de millimètre et le rayon moyen à une approximation de 1/10000 de millimètre, on peut à peine, vu les causes perturbatrices susmentionnées, considérer ces mesures comme suffisantes pour donner une véritable certitude.

Comme la longueur de l'aiguille de la boussole de tangentes ($0^m,027$) n'était que 1/18 environ du diamètre de son cercle ($0^m,50$), on pouvait admettre sans erreur sensible la loi des tangentes. Mais une grave cause d'erreur provenait de ce que l'aiguille tournait sur un pivot. D'après Rowland, l'aiguille, qui était munie d'un index mobile au-dessus d'un grand cercle de 20 centimètres de diamètre, prenait toujours une position exacte à 1′ ou 2′ près (1′ correspondant seulement à $0^{mm},03$ sur le cercle); mais comme cette manière de voir ne concorde pas entièrement avec les résultats acquis jusqu'à présent, il serait indispensable de savoir d'une façon certaine comment cette grande mobilité avait été obtenue.

L'aiguille du galvanomètre avait $1^c,25$ de long; les spires qui en étaient rapprochées à l'ouest et à l'est avaient 3 centimètres de diamètre intérieur, $5^c,6$ de diamètre extérieur; leurs surfaces intérieures étaient à environ $0^c,935565$ (longueur évaluée à 1/100000 de millimètre près) du centre de rotation. On peut se demander si la loi des tangentes est encore applicable dans ces conditions.

L'intensité du courant inducteur et celle du courant induit étant mesurées en des endroits différents, Rowland s'est trouvé entraîné dans une nouvelle complication pour déterminer le rapport des composantes horizontales du couple terrestre au centre de la boussole des tangentes et à celui du galvanomètre; il entourait ce dernier d'un circuit conducteur plus grand, y faisait pas-

ser le même courant que dans la boussole des tangentes et comparait les deux déviations. Le rayon extérieur de 4 centimètres environ du nouveau circuit est indiqué encore ici avec une approximation de 1/10000.

L'auteur lui-même ne croit guère que l'exactitude des déterminateurs des divers éléments réponde à un si grand nombre de décimales, car les dernières ne peuvent être obtenues que par interpolation; il serait bon, en tout cas, de se rendre compte d'une façon certaine du degré d'approximation que peut atteindre l'observation; une valeur moyenne ne peut, en effet, jamais être approchée que dans les limites accessibles à l'observation, sans quoi on pourrait, en employant les moyens les plus grossiers, obtenir toute l'exactitude désirable par des mesures répétées.

D'ailleurs, comme les causes d'erreur exposées plus haut doivent certainement fausser dans une notable proportion les résultats, une approximation pareille sur un seul point n'est pas une garantie de l'exactitude des résultats définitifs (*).

(*) Si, dans cette méthode et dans les autres, on emploie comme inducteur une spirale uniformément enroulée sur un anneau fermé, c'est-à-dire un solénoïde neutre, et, comme spirale induite, une spirale entourant la précédente en un point, les conditions deviennent beaucoup plus simples, et le courant induit dans le solénoïde par le commencement et la cessation du courant ne dépend que des dimensions linéaires du solénoïde, de ses diamètres intérieur et extérieur d et d_1, du nombre de spires de la bobine d'induction et du solénoïde, c'est-à-dire de la hauteur a, dans le cas d'un solénoïde à section rectangulaire. (Voir Roiti, *Atti di Torino*, 30 avril 1882.) Cependant, l'emploi d'un semblable solénoïde suscite une très grande difficulté, celle d'obtenir un enroulement parfaitement régulier du fil et une mesure suffisamment exacte de ses dimensions. Ce dernier point est d'autant plus délicat que la section du solénoïde est nécessairement toujours très petite, et que dans les formules figurent les valeurs $\sqrt{d} - \sqrt{d_1}$, pour un solénoïde à section circulaire, et $a \log \frac{d_1}{d}$ pour un solénoïde à section rectangulaire.

Vu le grand nombre de déterminations qu'exige cette méthode, elle me paraît moins propre à l'établissement d'une résistance bien définie que la quatrième et la première méthode de W. Weber, et c'est encore à la première méthode que je donnerais la préférence.

Quel que soit le procédé employé, une fois la résistance d'un conducteur A déterminée en valeur absolue, on aura à lui comparer la résistance B d'une colonne de mercure de dimensions connues, afin d'en déduire la longueur d'une colonne de mercure de 1 millimètre carré de section, qui possède 1 ohm de résistance.

Dans la première méthode de W. Weber, on pourrait intercaler directement la colonne de mercure B entre l'inducteur et le multiplicateur, et calculer la résistance de B pendant les expériences, d'après la diminution de l'intensité. On peut encore comparer les résistances A et B à l'aide du galvanomètre différentiel ou du pont de Wheatstone en employant les procédés si parfaits utilisés par W. Siemens pour la construction des copies de son unité mercurielle. Comme nous connaissons déjà très approximativement la longueur de la colonne de mercure qui représente l'ohm, on choisira d'avance la résistance B aussi voisine que possible de la résistance A.

Il est extrêmement important, après la vérification du diamètre du conducteur à mesurer, de s'assurer des contacts parfaits en employant des tiges épaisses de cuivre, fraîchement amalgamées, et des godets de mercure pur, dont on ait préalablement déterminé la résistance en en plaçant plusieurs dans le circuit. Les contacts obtenus avec des chevilles ne suffisent pas quand on veut une haute précision. On doit prendre également le plus grand soin, comme le fait Siemens pour la reproduction de ses

étalons, d'entretenir la température constante et au degré voulu.

Une difficulté se présente par suite des courants d'induction qui sont provoqués dans les conducteurs A par l'ouverture et la fermeture des circuits dont les courants parcourent la combinaison de fils.

On doit donc ou bien employer un courant constant d'une intensité si faible qu'il ne provoque aucun échauffement appréciable du circuit, ou bien, d'après F. Kohlrausch, qui a étudié de près cette question (*), recourir à un appareil d'induction qui envoie dans le conducteur des courants alternatifs convenablement réglés.

Une cause particulière d'erreur provient du mode d'entrée ou de sortie du courant dans la colonne de mercure contenue dans un tube parfaitement calibré et soigneusement nettoyé. Les extrémités des tubes aboutissent dans des récipients de verre dont le diamètre est relativement très grand. On remplit l'appareil le mieux possible, en versant du mercure dans l'un des récipients et inclinant l'appareil sur le côté du récipient. Après avoir fermé les ouvertures, on fait le vide à plusieurs reprises aussi parfaitement que possible; on peut alors chauffer le tube avec précaution et laisser rentrer de l'air filtré à travers de l'acide phosphorique anhydre et de la ouate, et après avoir fait le vide une dernière fois, on couche le tube horizontalement et on y laisse rentrer le mercure. Si l'on plonge les électrodes dans les récipients à mercure et qu'on fasse passer le courant, la résistance du mercure contenu dans les récipients s'ajoute à celle de la colonne. On peut calculer cette résistance en supposant les récipients infiniment grands. Il serait peut-être avan-

(*) *Ann. de Poggendorff*, 1871, vol. 142, p. 148.

tageux de l'évaluer directement par le pont de Wheatstone en équilibrant la résistance d'une colonne de mercure terminée par deux récipients de mercure au moyen d'une résistance presque égale, et en coupant ensuite le tube en un ou plusieurs endroits pour intercaler de nouveaux récipients, et déterminant de nouveau la résistance de l'ensemble. On pourrait aussi disposer deux tubes de longueur m et n de même section entre les mêmes récipients-électrodes, comparer la résistance totale dans les deux cas et en déduire celle des récipients.

Dans le but d'éviter cette opération distincte qui consiste dans la comparaison de la résistance de la bobine déterminée en mesure absolue avec celle d'une colonne de mercure, Carey Foster (*) et Lippmann (**) ont presque en même temps et d'une façon ingénieuse proposé (Lippmann) et même effectué (C. Foster) la combinaison de la quatrième méthode de Weber employée par l'Association Britannique, avec la méthode de compensation de Poggendorff pour la mesure des forces électromotrices ; on n'a pas alors à déterminer préalablement la résistance de la bobine tournante.

Dans le circuit d'une pile constante, par exemple une pile thermo-électrique, sont intercalés une boussole des tangentes et le conducteur R en expérience. Les extrémités de celui-ci sont reliées par une dérivation dans laquelle un galvanomètre sensible et la bobine tournant autour d'un axe vertical se trouvent introduits pendant une phase déterminée du mouvement par le jeu d'un

(*) Carey Foster, *Electrician*, 1881, vol. VII, p. 266; Suppléments, vol. VI, p. 133.

(**) Lippmann, *Comptes rendus*, 1881, vol. XCIII, p. 713; Suppléments, vol. VI, p. 43.

commutateur tournant avec la bobine. En réglant la vitesse de rotation de la bobine, ou, si la vitesse de rotation reste constante, en modifiant la résistance de la branche qui contient la pile constante, on maintient le galvanomètre au zéro.

Alors, au moment de l'introduction de la bobine dans le circuit, la force électromotrice induite dans ses spires est égale à la différence de potentiel déterminée par la pile thermo-électrique aux extrémités du conducteur R. Si l'intensité du courant dans ce dernier et dans le circuit de la pile et de la boussole des tangentes est égale à J, on a $E = JR$. Le facteur de réduction de la boussole des tangentes peut être calculé d'après les dimensions et la valeur de la composante du magnétisme terrestre, de même que la force électromotrice induite dans la bobine pendant la rotation. On peut le plus souvent, comme dans la première méthode de Weber, regarder comme égales les composantes du magnétisme terrestre aux deux endroits et elles disparaissent du calcul.

Cette méthode exige les mêmes déterminations que la quatrième méthode de Weber. L'incertitude des contacts du commutateur n'a pas d'influence, puisque aucun courant ne passe dans le circuit inducteur quand le galvanomètre est au zéro.

Si l'on dispose le commutateur de telle sorte que le contact avec la bobine se produise à l'instant où le courant d'induction est maximum, c'est aussi l'instant où son intensité varie le moins rapidement, on arrive, en choisissant d'ailleurs convenablement les autres rapports, à atténuer autant que possible les effets de l'induction du cadre sur lui-même. Il serait nécessaire, en outre, de prendre des précautions pour que l'échauffement des con-

tacts du commutateur ne donne pas lieu à des courants thermo-électriques; d'un autre côté, il est difficile de déterminer d'une façon sûre la période pendant laquelle le commutateur établit la fermeture du circuit.

Une dernière méthode, proposée déjà en 1873 par M. Lorenz, de Copenhague, est une méthode à compensation comme celle de MM. Carey Foster et Lippmann. Un courant C est dirigé par la résistance en mercure A qu'on veut déterminer en unités absolues et par une hélice, au milieu de laquelle on fait tourner un disque en métal autour d'un axe coïncidant avec celui de l'hélice. On fait communiquer l'axe et le bord du disque par deux ressorts en métal avec les deux bouts de la résistance A, en introduisant un galvanomètre dans ce dernier circuit, et l'on change la direction ainsi que la vitesse de la rotation du disque jusqu'à ce que la force électromotrice induite dans le disque soit égale et contraire à la différence de potentiel aux deux bouts de la résistance A, produite par le courant C; l'aiguille du galvanomètre reste à zéro.

L'élégance et la précision de cette méthode la recommandent sous beaucoup de rapports. Toutefois, il reste à décider par des expériences si l'on peut régler suffisamment la vitesse de rotation du disque pour ramener à zéro la déviation du galvanomètre; si les forces thermo-électriques produites aux points de frottement des ressorts peuvent être assez régulières pour pouvoir être éliminées par une inversion du sens de la rotation; s'il est possible de rendre la distance entre les deux points, où les ressorts touchent le disque, assez fixe pour qu'elle puisse être mesurée avec une exactitude suffisante. La force électromotrice induite dans le disque est très fai-

ble si l'on ne se sert pas d'une hélice inductrice de beaucoup de spires et de courants très intenses. Pour cette cause, la résistance A ne peut être qu'assez faible, pour que la force électromotrice à ses deux extrémités soit égale à celle qui est engendrée dans le disque. Il faut s'assurer que cet inconvénient ne diminue pas trop l'exactitude de la détermination de la résistance A. Il n'y aura pas de grandes difficultés à vaincre pour arranger l'hélice inductrice de façon que le champ magnétique soit uniforme sur toute l'étendue du disque tournant, ou pour en calculer la force inductrice. Les dernières expériences de lord Rayleigh démontrent qu'avec des précautions suffisantes, cette méthode fournit des résultats égaux à ceux qu'il a obtenus par la méthode de l'hélice tournante.

Les résultats obtenus jusqu'à présent par les diverses méthodes sont, surtout pour quelques-unes, assez éloignés les uns des autres, malgré tout le soin qui a été apporté dans ces recherches, faites à certains égards sans le secours des moyens perfectionnés que demande une détermination définitive de l'ohm. Ainsi, la résistance d'une colonne de mercure de 1 millimètre carré de section et de 1 mètre de longueur à 0° est, d'après les premières déterminations de la commission de l'Association Britannique, égale à 0,9830; d'après Kohlrausch, 0,9717, et avec de nouvelles corrections de l'aire de l'inducteur, égale à 0,9470; d'après Rowland, à 0,9456; d'après Fr. Weber, à 0,9550 d'après; lord Rayleigh et M. Sidgwick, à 0,9413 ohm $\left(10^9 \dfrac{\text{Cm}}{\text{Sec}}\right)$ (*). L'ohm primitive-

(*) Dernièrement, M. Hunrich Weber, à Brunswick, a employé la méthode IV de Wilhelm Weber, en faisant tourner l'inducteur autour d'un

ment déterminé par l'Association Britannique est, d'après F. Kohlrausch, égal à 1,0196; d'après Rowland, à 0,9910; d'après lord Rayleigh et Schuster, à 0,9893 de l'ohm véritable $\left(10^9 \frac{\text{Cm}}{\text{Sec}}\right)$.

Il ressort de là, en tous cas, que pour la détermination définitive de l'ohm, on ne devra pas s'en rapporter uniquement à des expériences faites en un seul lieu et d'après une seule méthode. Comme je l'ai fait remarquer plus haut, les résultats de chaque méthode, prise en particulier, ne présentent de sécurité à l'égard de certaines causes d'erreur constantes, que lorsqu'ils sont obtenus par des séries d'expériences entièrement indépendantes les unes des autres et faites avec des appareils de constructions extrêmement variées. Comme des recherches effectuées avec d'excellents appareils et par des méthodes diverses sont actuellement en cours dans différents pays, nous devons nous attendre à avoir dans peu de temps l'avantage de pouvoir comparer entre elles les données qui s'en dégageront et à arriver à un résultat aussi satisfaisant que possible.

Pour des déterminations aussi importantes et aussi durables que celles des unités électriques, un retard de quelques mois n'est d'aucune importance, par rapport à l'importance des résultats à atteindre. Toute détermination d'un ohm déduite d'une seule série d'expériences et toute distribution de copies d'un tel ohm pour les usages pratiques seraient, par suite, prématurées et inacceptables.

axe horizontal coïncidant avec l'axe de l'aimant suspendu au milieu. Cette méthode exige la connaissance de l'inclinaison magnétique. M. H. Weber a trouvé la résistance de l'unité en mercure égale à 0,9413. M. Dow la trouve égale à 0,9482, et M. Lorenz à 0,9337.

Après la détermination de l'ohm, la tâche de la commission nommée pour la fixation des unités électriques ne sera pas terminée. Il sera encore nécessaire de fixer au moins une des deux unités restantes, par exemple le volt. Comme il est actuellement impossible de le construire sous une forme susceptible de reproduction, on sera toujours obligé de comparer d'abord les forces électromotrices avec celle d'un élément constant, dont la valeur soit connue en volts. On sera ainsi dans le même cas que si, voulant évaluer une longueur en mètres, on devait se servir d'une règle quelconque dont on connût la longueur par rapport à celle du mètre. On devra étudier avec le plus grand soin les forces électromotrices des éléments à prendre pour termes de comparaison et voir en quoi elles dépendent des conditions extérieures. Il est bien démontré, pour l'élément de Latimer Clark, qu'il est susceptible d'être construit de manière à posséder une force électromotrice bien déterminée; mais il n'est utilisable que pour des mesures électro-statiques, parce qu'il se polarise sous l'action de courants un peu intenses; pour l'élément Daniell et les autres, les observations ne me paraissent pas entièrement concluantes.

Des procédés indirects du même genre peuvent aussi être appliqués à la mesure absolue de l'intensité; il faut, par exemple, déterminer le facteur de réduction de la boussole des tangentes. Ce problème a été considérablement facilité par les dernières recherches de MM. F. Kohlrausch et Mascart sur l'équivalent électro-chimique de l'argent, lesquelles présentent pourtant de légères divergences.

Un vaste champ s'ouvre encore aux recherches de précision, pour lesquelles nous possédons déjà une série

d'essais préliminaires de haute valeur. Toutefois, tous ces travaux ne peuvent donner un résultat définitif en rapport avec le but actuellement poursuivi, que s'ils sont exécutés d'après un plan d'ensemble, avec une bonne organisation, et à l'aide des appareils les plus perfectionnés.

SYSTÈME DE TRANSMISSION SEXTUPLE

PAR UN SEUL FIL CONDUCTEUR

DE M. J.-W. JONES.

On sait comment on est passé, il y a environ vingt-cinq ans, de la transmission simple à la transmission double en sens contraire par un seul fil conducteur (*duplex*), et comment, à peu près à la même époque, on est arrivé, au moins théoriquement, à la transmission double dans le même sens. Les deux systèmes, combinés et perfectionnés, ont conduit à la transmission quadruple, qui est appliquée sur quelques lignes en Angleterre et en Amérique, et a figuré à l'Exposition universelle d'Électricité de 1882 dans les salles de M. Edison, ainsi que dans quelques expositions particulières (MM. Wennmann et Sieur). On est allé plus loin et, dans le courant de l'année dernière, M. J.-W. Jones a expérimenté en Amérique un système pour la transmission simultanée de trois dépêches dans le même sens, auquel on peut appliquer l'un des procédés du duplex, ce qui donne la possibilité de transmettre en même temps six dépêches par un même fil.

C'est ce système que nous allons décrire sommairement d'après le journal l'*Opérateur*. Il repose sur les variations de courant qu'on obtient en manœuvrant trois manipulateurs reliés à des piles inégales, qui produisent des intensités différentes suivant ceux de ces manipulateurs qui sont manœuvrés isolément ou ensemble.

Nous ne nous occuperons que de la transmission dans un sens, la transmission simultanée en sens opposé ayant lieu par l'une ou l'autre des méthodes bien connues du pont de Wheatstone ou des bobines différencielles.

Au poste qui transmet sont disposés trois piles inégales, P_1, P_2 et P_4 (*fig.* 1), dont les forces électromotrices sont entre elles comme les nombres 1, 2, 4, et trois manipulateurs Morse A, B, C. Deux d'entre ces derniers, A et B, sont des manipulateurs ordinaires dont la communication avec la pile s'effectue au moyen d'un petit ressort pour éviter les interruptions pendant le passage de la position d'émission à celle de réception. Ce ressort est fixé par une pièce en matière isolante au levier qu'il touche par son extrémité, en appuyant sur un renflement dont il s'éloigne au moment où il vient rencontrer un butoir fixe placé en face et qui communique avec la pile.

Quant au troisième manipulateur C, il a une double fonction à remplir ; il se compose de deux tiges M et N, mobiles autour de deux axes fixes *m* et *n*, sur lesquels agit le levier C. Ce levier, à l'état de repos, écarte la tige M d'un butoir K, la seconde tige reposant sur un butoir I ; lorsque l'on abaisse la poignée, le levier soulève la tige N, tandis que la tige M sollicitée par un ressort vient presser le butoir K. Les deux butoirs I et K sont en relation avec le fil de la ligne L ; quant aux autres communications elles sont installées comme le montre la figure et sont faciles à suivre.

A l'état de repos, les leviers des trois manipulateurs étant disposés comme dans la figure, un courant négatif produit par la pile P, est envoyé sur la ligne L ; son intensité peut être représenté par — 1.

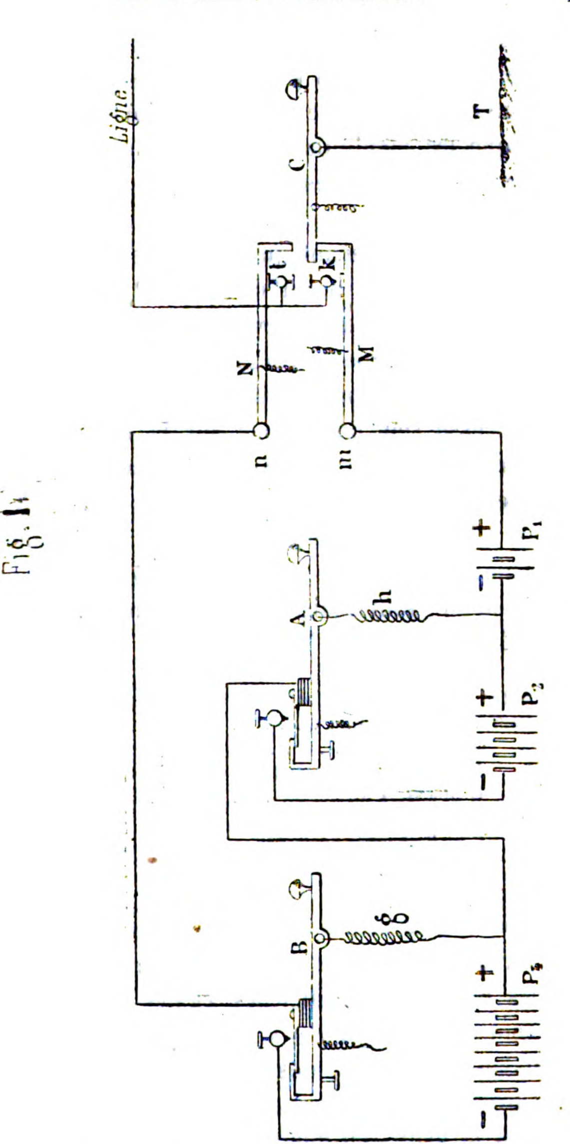


Fig. 14.

Si l'on abaisse le manipulateur A, la pile P_2 s'ajoute

à la pile P_1, et l'intensité du courant envoyé est — 3.

Si le manipulateur B est seul abaissé, les piles P_4 et P_1 s'ajoutent et produisent une intensité — 5.

Lorsque les manipulateurs A et B sont abaissés simultanément, les trois piles s'ajoutent et le courant transmis est — 7.

Supposons maintenant qu'on abaisse le manipulateur C; on mettra le pôle positif de la pile P_1 en communication avec la ligne par le levier M et le butoir K, et en même temps la ligne en communicatton avec les lames élastiques des manipulateurs A et B. Si le manipulateur C est abaissé seul on a donc sur la ligne un courant représenté par + 1; si C et A sont abaissés simultanément, le courant envoyé devient + 2 + 1 ou + 3; il est + 4 + 1 ou + 5 dans le cas où C et B sont manœuvrés ensemble; et enfin + 1 + 2 + 4 ou + 7 lorsque les trois manipulateurs sont abaissés simultanément.

En résumé, on a sur la ligne :

A l'état ordinaire un courant d'intensité.	— 1
Pour A abaissé seul.	— 3
B abaissé seul	— 5
B et A abaissés ensemble.	— 7
C abaissé seul.	+ 1
C et A abaissés ensemble.	+ 3
C et B abaissés ensemble.	+ 5
C, A et B abaissés ensemble.	+ 7

Afin de maintenir constante la résistance totale du circuit, lorsqu'on introduit ou qu'on enlève les piles P_2 et P_4, des résistances artificielles égales à celles de ces piles sont installées en *g* et *h* sur le parcours des fils qui aboutissent aux leviers des deux manipulateurs A et B.

Les trois manipulateurs peuvent être manœuvrés directement à la main, ou mieux encore mis en mouvement par l'intermédiaire de piles locales dont on ferme le cir-

cuit au moyen de leviers Morse ordinaires et qui agissent sur les leviers A, B et C par l'intermédiaire de ces piles et d'électro-aimants.

Les trois récepteurs ou parleurs CR, AR et BR (*fig*. 2) doivent fonctionner seulement : le premier lorsqu'on abaisse le manipulateur C de la figure 1; le deuxième quand on abaisse le manipulateur A, et le troisième quand on abaisse le manipulateur B.

La première condition se remplit aisément au moyen d'un relais polarisé réglé de façon à marcher sous l'action de courants positifs égaux ou supérieurs à + 1. Il fonctionnera donc pour les courants + 1, + 3, + 5 et + 7, envoyés lorsque le manipulateur C est mavœuvré, et restera immobile lorsque des courants négatifs seront transmis par les manipulateurs A et B seuls, abaissés ensemble ou séparément.

On peut également satisfaire à la troisième condition au moyen d'un relais ordinaire H, placé dans le circuit et réglé de façon à marcher sous l'action de courants positifs ou négatifs au moins égaux à 5, tandis qu'il reste immobile pour des courants d'intensité moindre. Il fonctionnera seulement lorsque les courants — 5, + 5, — 7 ou + 7 seront produits par l'abaissement du manipulateur B (*fig*. 1) manœuvré seul ou avec les manipulateurs A et C.

Quant au troisième récepteur ou parleur AR, il doit rester en repos pour les courants d'intensité + 1, — 1, + 5 et —5, et fonctionner lorsque l'intensité est + 3, — 3 + 7 et — 7.

On peut réaliser ces conditions au moyen de trois relais D, E et F, installés ensemble dans le circuit général et disposés comme dans la figure 2, le premier de ces

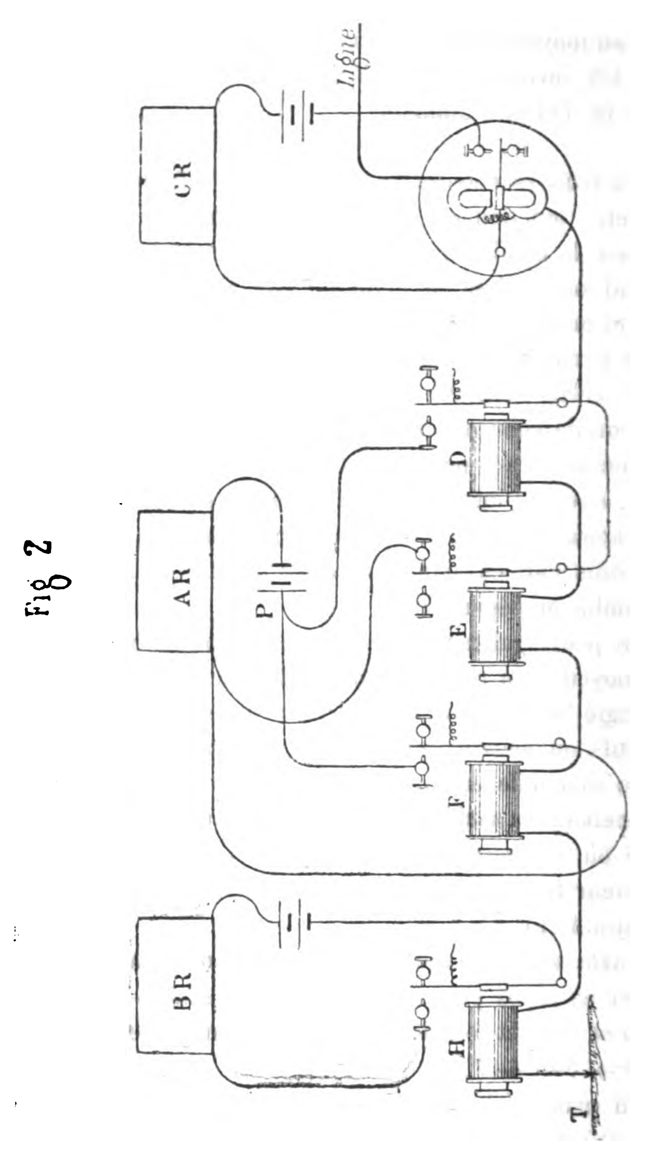


Fig 2

relais D ne marchant que si l'intensité du courant qui le

traverse est égale ou supérieure à 3, le second, E, si l'intensité est égale ou supérieure à 5, et le troisième, F, F lorsque l'intensité est 7.

La pile locale P est reliée par un de ses pôles au parleur AR et par l'autre aux deux butoirs que les leviers des relais D et F viennent toucher quand les armatures sont attirées par les électro-aimants; quant au récepteur, il communique d'autre part avec le levier du relais F et avec la borne que touche, à l'état de repos, le levier du relais E, relié lui-même par un fil conducteur au levier de relais D.

On voit que le circuit local est ouvert et que par suite le parleur AR reste au repos lorsque l'intensité est + 1 ou — 1.

Si le courant est + 3 ou — 3, le relais D marche seul et ferme le circuit de la pile locale qui fait fonctionner le récepteur AR.

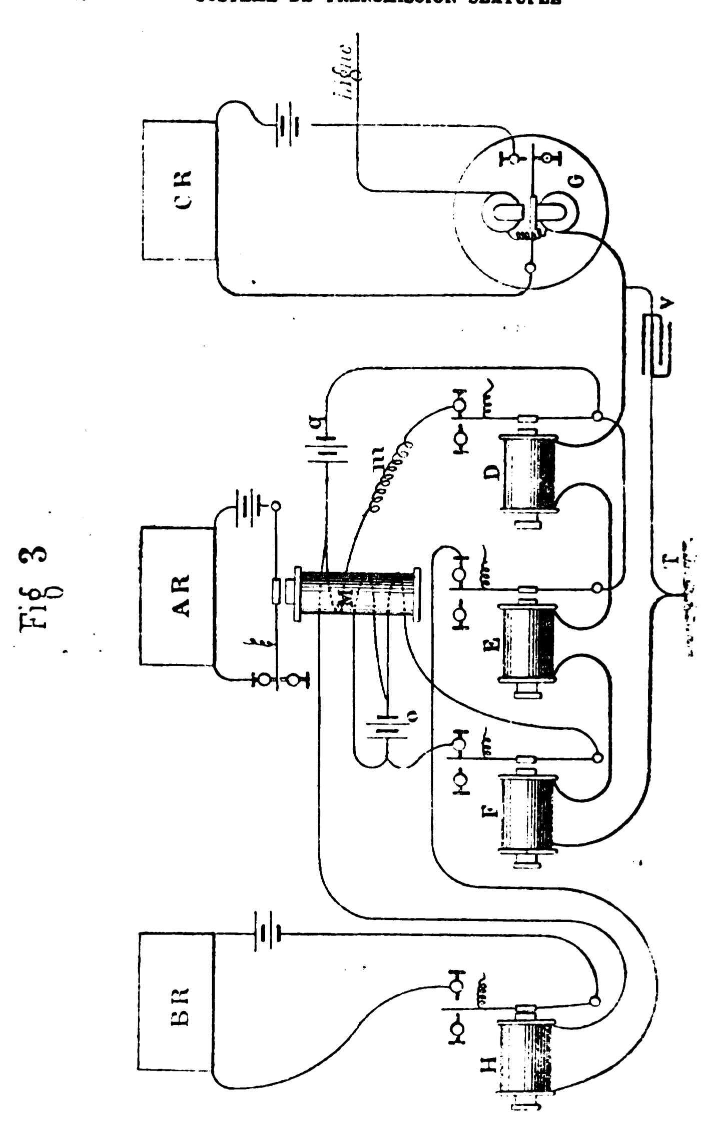
Lorsque l'intensité est + 5 ou — 5, les deux relais D et E fonctionnent ensemble, le circuit local est rompu par l'armature de E; le parleur AR reste en repos.

Enfin si le courant est + 7 ou — 7 les armatures des trois relais D, E et F sont attirées; le circuit de la pile locale est rétabli par l'armature du relais F et le parleur fonctionne.

Le parleur AR marche donc seulement lorsque les courants reçus ont des intensités ± 3 et ± 7, c'est-à-dire lorsque le levier du manipulateur A (*fig.* 1) est abaissé.

La solution de M. Jones (*fig.* 3) est un peu différente.

Le premier relais, G, est toujours un relais polarisé, qui marche avec des courants positifs + 3, + 5 et + 7, et fait fonctionner le parleur CR lorsqu'on abaisse le manipulateur C (*fig.* 1).



Mais le second relais H, mis en mouvement par le manipulateur B, qui donne le mouvement au parleur

BR, est mis en jeu par l'intermédiaire des trois relais D, E et F, correspondant au manipulateur A. Ce résultat est obtenu au moyen d'un relais supplémentaire doublement différentiel M.

Le courant venant de la ligne traverse le relais polarisé G, puis les trois relais D, E et F dont le premier fonctionne, comme dans le cas précédent, avec les courants égaux ou supérieurs à 3, le second avec les courants égaux ou supérieurs à 5, et le troisième avec des courants au moins égaux à 7.

Le relais différentiel M comprend deux doubles circuits : le premier est en communication d'une part avec un des pôles de la pile locale *q*, dont l'autre pôle est relié aux deux leviers des relais D et E ; un des conducteurs est relié d'autre part au fil de l'électro-aimant H, puis, par son intermédiaire, à la borne que le levier du relais E touche à l'état de repos ; le second conducteur aboutit à la borne de repos du relais D, par l'intermédiaire d'une résistance *m*, égale à celle du fil de la bobine du relais H. Quant à l'autre circuit différentiel, il est relié, d'une part, à une seconde pile locale O ; de l'autre, un des conducteurs aboutit au second pôle de la même pile tandis que le second est relié au levier du relais F, dont la borne de repos communique également au second pôle de la même pile locale O.

Le relais polarisé G et le parleur GR marchent avec des courants positifs + 1, + 3, + 5 et + 7.

Les courants + 1 et — 1 n'agissent sur aucun des relais D, E et F, et les quatre circuits différentiels du relais M sont parcourus par des courants dont les effets se détruisent deux à deux ; l'armature de ce relais est éloignée des bobines, et le circuit local, qui comprend

le parleur AR, est ouvert (*). Quant au relais H, il est parcouru par un courant qui maintient l'armature attirée et éloignée du butoir par lequel se ferme le circuit de la pile locale; le parleur BR reste donc aussi au repos pour les courants $\pm$ 1.

Si le courant reçu a une intensité + 3 ou — 3, le relais D fonctionne, un des circuits de la pile *q* est rompu et l'armature de l'électro-aimant M, attirée, ferme le circuit local qui fait marcher le parleur AR. Quant à l'armature du relais H elle continue à être attirée et le parleur BR reste au repos.

Lorsque l'intensité de courant est + 5 ou — 5 les deux armatures des relais D et E sont attirées; les deux circuits de la pile *q* sont rompus simultanément; l'électro-aimant M n'étant pas aimanté, son armature reste en repos, tandis que celle du relais H s'éloigne de l'électro-aimant sous l'action du ressort de rappel et vient fermer le circuit local qui agit sur le parleur BR.

Enfin si l'intensité du courant reçu est + 7 ou — 7, les armatures de trois relais D, E et F sont attirées; les deux circuits du relais M en relation avec la pile *q* sont rompus en même temps que celui de la pile *o*, qui était fermé par l'armature du relais F; le second circuit différentiel de cette pile reste seul complet et produit l'aimantation du relais M dont l'armature fait marcher le parleur AR, en même temps que le parleur BR fonctionne par suite de l'attraction de l'armature du relais E.

On voit que toutes les conditions de la triple transmission sont remplies.

Les quatre fils conducteurs du relais M doivent être

(*) Le parleur AR doit être relié à la borne située au-dessous du levier, et non à la borne supérieure comme l'indique la *fig* 3, par erreur.

enroulés sur l'électro-aimant et reliés aux piles *q* et *o* de façon que la polarité développée dans les noyaux de fer doux soit de même sens, soit lorsque le circuit de la branche *m* est seul rompu, soit lorsque trois circuits sont rompus par les trois électro-aimants D, E et F; le circuit permanent de la pile *o* doit donc développer un magnétisme de même sens que le circuit de la pile *q* en relation avec le relais H.

Les parleurs AR et BR fonctionnent lorsque les armatures des relais D, E et F sont attirées ensemble ou séparément par leurs électro-aimants, et ne doivent pas être influencées par un changement de sens d'un courant de même intensité. L'inversion, qui produit la marche du relais polarisé, est extrêmement rapide, sinon instantanée, et ordinairement trop brève pour permettre aux armatures de donner un contact en venant toucher les butoirs de repos, alors même qu'elles s'éloigneraient un peu des électro-aimants.

Pour obvier encore plus sûrement à toute difficulté provenant de l'éloignement momentané des armatures des relais, par suite du renversement du sens du courant, M. Jones ajoute un condensateur V entre le relais G et les trois relais D, E et F. Ce condensateur prend une charge qui, au moment de l'interruption du courant de la ligne, le prolonge, à travers les relais jusqu'au moment de l'inversion.

Le relais D doit fonctionner avec des courants égaux à 3, 5 ou 7, et le relais E avec des courants égaux à 5 ou 7. Il peut arriver que l'armature, dont le jeu est réglé pour une certaine intensité, soit retenue par l'électro-aimant et ne fonctionne pas régulièrement lorsque l'intensité augmente brusquement.

M. Jones y a remédié en compensant l'effet d'un cou-

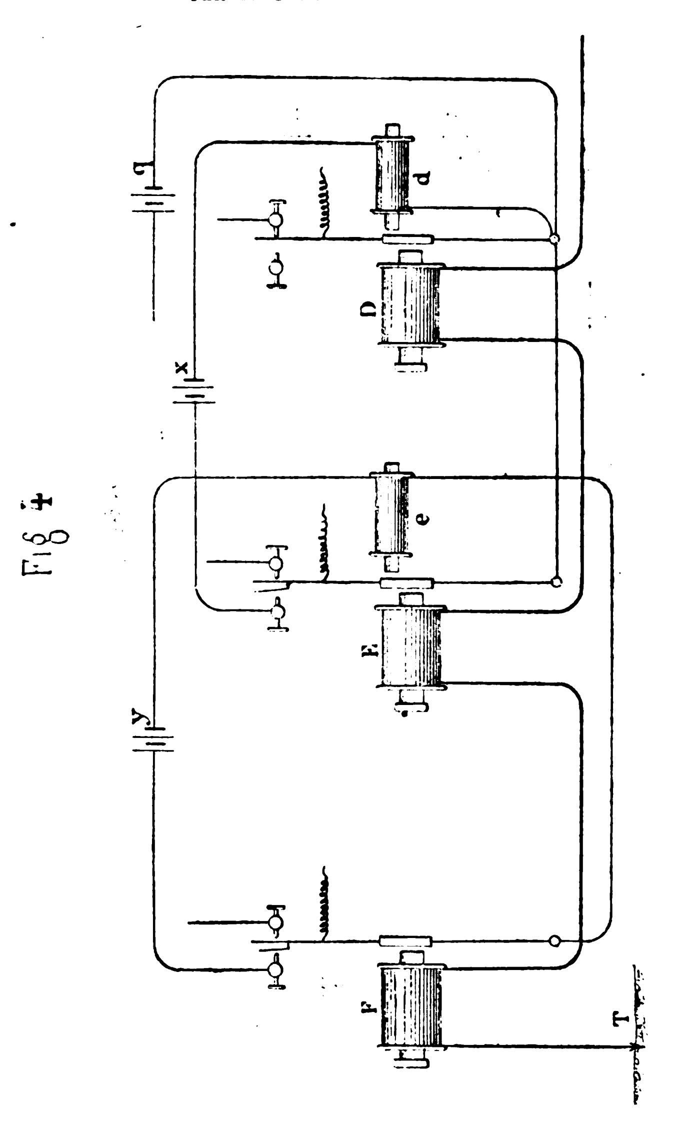
rant trop énergique sur l'armature par un courant local qui vient en aide au ressort de rappel.

En face des armatures des électro-aimants E et D (*fig. 4*) sont deux petits électro-aimants *e* et *d*. Le fil du premier, *e*, est en relation, par l'intermédiaire d'une petite pile locale *x*, avec le levier mobile du relais F et avec le butoir que ce levier vient toucher quand il est attiré. Si un courant 3 est reçu, il fait seulement marcher le relais D; si le courant est égal à 5, il fait marcher les relais D et E, et l'armature de D est attirée par une force plus grande, mais, à ce moment, le circuit de la pile locale *x* est fermé et envoie dans l'électro-aimant *d* un courant dont l'action s'ajoute à celle du ressort de rappel de l'armature, de façon que la force résultante, qui applique cette armature contre l'électro-aimant D, reste la même que lorsque l'intensité du courant est 3.

De même, lorsque l'intensité du courant est 7, le relais F fonctionne et son armature ferme le circuit d'une petite pile locale *y*, dont le courant traverse l'électro-aimant *e* et ajoute son action à celle du ressort de l'armature.

Dans ce dernier cas l'attractiou de l'armature du relais D est plus forte que lorsque l'intensité du courant est 3 ou 5; on pourrait la maintenir constante de la même manière au moyen d'un second circuit qui entourerait l'électro-aimant et serait en relation avec la pile *y* et avec l'armature du relais F.

Les éloctro-aimants locaux *e* et *d* ne peuvent agir qu'autant que les circuits des piles locales *x* et *y* sont fermés, et cessent d'exercer leur action lorsque, par suite de l'inversion du sens des courants de ligne, les armatures des relais E et F s'écartent un instant des butoirs: il en résulte une force de rappel variable.



M. Jones a surmonté cette difficulté en ajoutant aux extrémités des leviers des relais E et F deux petits res-

sorts qui rendent possible un léger mouvement de l'armature sans rompre les circuits locaux des piles x et y; le contact est donc maintenu lorsque les armatures subissent une légère vibration par suite du renversement du sens du courant.

Le système de M. Jones a été essayé en Amérique sur des lignes de faible longueur, et a bien fonctionné. Il a été expérimenté avec succès, paraît-il, par le Western entre New-York et Philadelphie en janvier 1881, mais les essais n'ont pu continuer à cause des câbles défectueux de d'Hudson, qui n'auraient pu supporter les courants de haute tension employés avec un premier appareil d'essai.

LES

PROGRÈS RÉCENTS DE LA TÉLÉPHONIE.

CONFÉRENCE DE M. PREECE

A L'ASSOCIATION BRITANNIQUE POUR L'AVANCEMENT DES SCIENCES (*)

C'est aux réunions de l'Association Britannique que le téléphone a fait son apparition devant le public anglais.

En 1876, à Glascow, sir W. Thomson provoquait l'enthousiasme de ses auditeurs en annonçant qu'à Philadelphie il avait entendu réciter Shakespeare à travers un fil télégraphique, au moyen d'une invention de M. Graham Bell qu'il qualifiait « de beaucoup la plus grande de toutes les merveilles de la télégraphie électrique ». En 1877, à Plymouth, j'ai eu la bonne fortune de montrer en pleine opération les appareils définitivement améliorés, connus maintenant sous le nom de Telephone Bell, que je venais de rapporter d'Amérique et avec lesquels de véritables conversations s'échangèrent entre Plymouth et Exeter. Cinq ans se sont écoulés depuis lors et il n'est pas sans intérêt d'exposer à l'Association Britannique les progrès de ce merveilleux instrument.

En 1877, le téléphone n'était encore qu'un jouet scientifique; aujourd'hui, il est devenu un appareil pratique. Un capital de 1.550.000 livres (38.750.000 francs) est déjà engagé dans son exploitation en Angleterre et le revenu

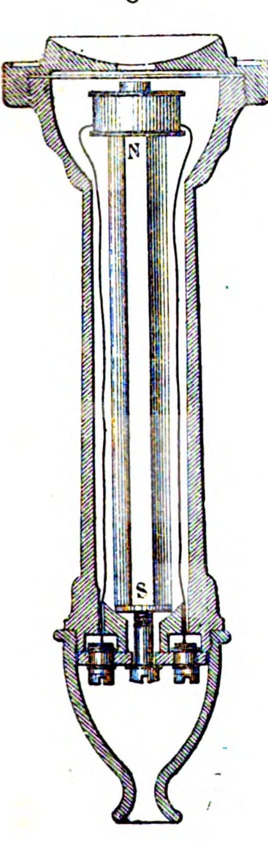
(*) Nous empruntons la traduction de la Conférence de M. Preece au *Journal télégraphique du bureau international de Berne.*

s'en élève à 109.000 livres (2.725.000 francs). Jusqu'ici il a constitué, en fait, un monopole entre les mains d'une Compagnie privée, propriétaire des brevets, et du Post Office, armé de son droit régalien; mais ce monopole a été brisé et nous sommes au moment d'assister à une ardente concurrence. L'on a souvent dit que, dans tout trafic, la concurrence avait pour effet de réduire les taxes perçues sur le public. Il serait difficile de trouver, dans l'expérience passée des chemins de fer et des télégraphes, la confirmation de cette assertion. Toute concurrence exagérée tend à abaisser momentanément les taxes, mais elle conduit soit à une fusion, soit à l'absorption de l'entreprise la plus faible par la plus forte, avec extension et gonflement du capital engagé et finalement elle se traduit, dans nombre de cas, par l'élévation des charges imposées à un public trop confiant. La concurrence, toutefois, provoque une amélioration du service et, sous ce rapport, il y a, en définitive, gain pour le public.

D'un autre côté, la liberté de l'exploitation conduit, en matière d'inventions, à des tripotages financiers et à des spéculations en faveur des types les moins recommandables. Nous avons assisté tout récemment à une véritable épidémie de spéculations électriques qui peut entièrement rivaliser avec la période de l'engouement de la mer du Sud (*South Sea bubble*). Le public s'est jeté aveuglément dans des entreprises mal étudiées, qui ont enrichi les spéculateurs véreux qui les lançaient, tourné la tête des inventeurs, retardé le véritable progrès de l'application utile de cette science nouvelle aux besoins de l'humanité et englouti des millions dans des projets imparfaits. L'on a beaucoup attaqué le monopole du Post Office dans l'exploitation télégraphique, mais, en tous cas, ce mono-

pole a pour lui le mérite d'avoir refréné, dans cette branche des applications pratiques de l'électricité, la rapacité des lanceurs de sociétés et des exploiteurs de brevets, tandis que personne ne peut soutenir qu'il ait entravé le progrès de la télégraphie. Dans la première semaine où les télégraphes de ce pays ont été transférés à l'État, le nombre total des télégrammes était de 26.000. Dans la semaine du 5 au 11 août dernier, ce nombre s'est élevé à 724.000. Il n'y a pas un inventeur qui puisse affirmer que son invention n'a pas fait l'objet d'un sérieux examen, qui puissé citer une amélioration réelle qui n'ait été adoptée et rémunérée, tandis que les perfectionnements imaginés par le Post Office lui-même ont été librement imités par d'autres pays et que l'Amérique elle-même — ce berceau des inventeurs — a trouvé le système anglais assez avancé pour mériter qu'elle l'introduise chez elle.

Fig. 1



Récepteurs. Le récepteur téléphonique original de Bell (*fig.* 1) n'a subi que peu de modification; dans sa forme et sa construction, il est resté sensiblement le même que celui que j'ai exposé en 1877. La perfection de son fonctionne.

ment dépend du soin et de la perfection de sa fabrication. Il est aujourd'hui plus solide et plus massif qu'il ne l'était au début et il est fait usage d'aimants plus puissants; mais c'est toujours le même beau, simple et merveilleux appareil que j'avais rapporté d'Amérique. M. Gower a augmenté sa sonorité en modifiant la forme de ses différents organes et en employant des aimants en fer à cheval très puissants et de forme spéciale, mais l'expé-

Fig. 2

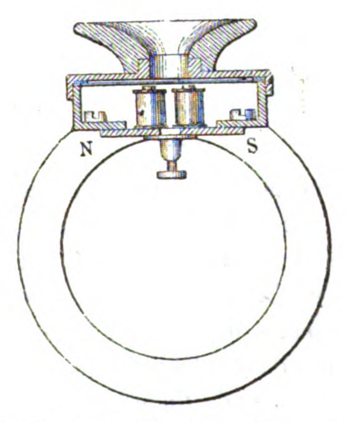
Plan

Elevation

rience montre que l'augmentation de la sonorité n'a jamais été acquise qu'aux dépens de la clarté de l'articulation ; et, bien que sous beaucoup de rapports, l'appareil Gower-Bell que le Post Office a adopté (*fig.* 2) et qui est celui dont on s'est servi pour relier entre elles toutes les sections de l' Association britannique dispersées à travers la ville de Southampton, soit plus pratique, rien, sous le rapport de la délicatesse de l'articulation, ne surpasse le Bell original.

L'Exposition de Paris de l'année dernière, si féconde en nouveautés électriques, n'a mis en évidence aucun perfectionnement marqué dans les expériences téléphoniques. Ce qu'il avait surtout à relever, ce sont les applications pratiques du téléphone, particulièrement pour la transmission à distance du chant et de la musique. Le récepteur Bell modifié par M. Ader (*fig.* 3) est celui qui est

Fig. 3

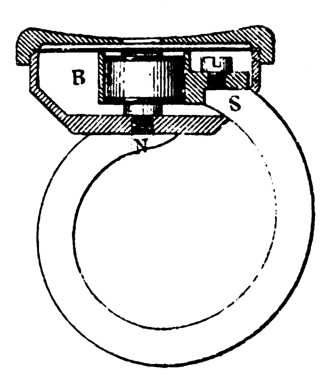


en usage général à Paris. C'est une forme très maniable, jolie et pratique. M. Ader utilise un principe qu'il appelle « surexcitation ». Il intercale entre l'organe d'audition et

le diaphragme un anneau épais de fer doux, qui accroîtrait la force d'attraction du petit aimant en fer à cheval sur le diaphragme de fer vibrant. Un appareil simple et expérimental de M. Ader prouve que ce fait n'est point sans quelque fondement. Lorsqu'un mince ressort d'acier est disposé tout près des pôles d'un aimant sans être attiré par eux, il suffit de la moindre approche d'une masse de fer du ressort pour que celui-ci soit attiré par l'aimant.

M. d'Arsonval a également modifié le récepteur Bell (*fig.* 4). Il a placé la bobine dans un puissant champ magnétique de forme annulaire et il y a concentré des lignes de force sur la bobine induite. Il met la bobine entière sous l'influence du champ. Les effets sont considérablement amplifiés et l'augmentation de sonorité n'est pas accompagnée, comme d'ordinaire, d'une diminution de la netteté de l'articulation. La parole se reproduit, dit-on, sans aucun changement de *timbre*.

Fig. 4



Les récepteurs téléphoniques du type Bell se basent tous sur les effets magnétiques de courants d'électricité circulant autour d'aimants ou de barres de fer doux.

L'aimantation et la désaimantation rapides et rythmiques d'une barre de fer doux ou l'accroissement et le décroissement du magnétisme d'un aimant produisent, dans sa propre masse et dans la matière qui l'entoure, des perturbations moléculaires, et celles-ci engendrent les mouvements oscillatoires de l'ensemble qui donnent naissance aux vibrations sonores qu'on peut rendre perceptibles par différents procédés et particulièrement par celui qu'a fait breveter Graham Bell.

L'on a utilisé aussi pour les récepteurs téléphoniques d'autres principes d'électricité.

Par exemple, M. Edison a recours aux effets électrochimiques. La décompositon par le passage d'un courant d'une solution chimique dans du papier ou sur de la craie produit, dans le frottement de deux substances mobiles, une modification qui peut reproduire les vibrations sonores. Il en résulte un appareil doué d'une grande sonorité. En 1880, j'ai moi-même été heureux de soumettre à la Royal Society un récepteur basé sur les effets électro-thermiques du courant. Le passage du courant à travers un fil l'échauffe toujours et, par conséquent, cause sa dilatation. Si le fil est suffisamment fin, la chaleur se produit et se dissipe très rapidement et la dilatation et la contraction sont si actives qu'il en résulte des vibrations sonores. Bien que j'aie pu de la sorte parler très clairement, je n'ai pas encore réussi à donner à cet appareil une forme pratique. Le professeur Dolbear a récemment utilisé les effets électro-statiques des courants. Son récepteur est même plus simple que celui de Bell. Deux disques circulaires plats de métal sont rigidement fixés tout près l'un de l'autre dans une boîte isolée d'ébonite. Lorsqu'un des disques est électrifié positivement par une charge d'électricité, l'autre est électrifié néga-

tivement par induction. Ces deux états opposés produisent des attractions dont la force varie avec l'énergie des signaux émis. Il en résulte qu'en transmettant des courants téléphoniques, l'on obtient des vibrations sonores et, par conséquent, la reproduction de la parole.

L'on a imaginé et produit bien d'autres formes de récepteurs téléphoniques. J'en ai vu dernièrement tout un régiment; mais comme ils ne comprennent aucun principe nouveau et n'introduisent aucun perfectionnement particulier, ayant principalement été imaginés pour essayer d'éluder les brevets antérieurs, je les passerai sous silence pour arriver à la partie suivante de mon sujet.

Notre législation actuelle, en matière de brevets, est malheureusement dans un tel état de confusion et de chaos qu'il est souvent facile d'y échapper, et l'on encourage ainsi, en fait, cet acte d'une moralité douteuse qui consiste à fabriquer un objet d'une autre manière pour éviter de tomber sous le coup d'un monopole.

La possession d'un brevet ne constitue aujourd'hui aucune garantie de propriété. La garantie est donnée sans aucune distinction, et elle ne peut être attaquée, sans une longue et ennuyeuse procédure et de grands frais, devant un tribunal qui n'est pas technique et qui scientifiquement est incompétent. Nous ne pouvons donc espérer une parfaite bonne foi dans le monde des inventeurs anglais et une véritable sécurité pour les perfectionnements réels, tant que notre loi sur les brevets n'aura pas été radicalement réformée. La question est pendante devant la Chambre des Communes, et quand les agitateurs prolixes auront entièrement épuisé la patience de nos législateurs, nous pouvons espérer qu'il sera donné quelque attention à un besoin réel et aussi pressant.

Transmetteurs. Ce qui constituait la grande nouveauté et la particularité caractéristique du téléphone de Bell, c'est que le récepteur et le transmetteur étaient semblables et réversibles. Des vibrations sonores d'air frappant un disque de fer le faisaient vibrer devant un aimant autour du pôle duquel était enroulée une partie d'un circuit électrique. Ces vibrations d'une substance magnétique dans un champ magnétique engendraient, dans la bobine de fil qui entoure l'aimant, des courants d'électricité, variant en force et en direction avec les vibrations sonores. Ces courants, conduits par un fil à une station éloignée, y modifiaient l'intensité magnétique d'un aimant semblable, de façon à varier sa force d'attraction sur un disque semblable, ce qui forçait celui-ci à répéter les mouvements du premier disque, reproduisant ainsi les vibrations sonores de l'air et la parole articulée. Les courants, toutefois, étaient très faibles; beaucoup d'énergie se perdait en route, et l'effet atteignait difficilement les conditions voulues pour un appareil pratique.

M. Edison a trouvé le moyen de fortifier ces courants. S'appuyant sur une propriété particulière attribuée au charbon, de varier en résistance électrique suivant la force de pression exercée sur lui, il serra le disque vibrant qui émet la parole contre un bouton de charbon et fit varier ainsi l'intensité d'un courant d'électricité passant au travers. Ce courant variable, en traversant le fil primaire d'une bobine d'induction, engendre dans la bobine secondaire des courants plus puissants que ceux que donnait l'appareil Bell et produit à la station de réception des effets sonores plus marqués. Le professeur Hughes est allé plus loin. Il a trouvé une combinaison de matières qu'affectent directement les vibrations sonores et à laquelle il a donné le nom de microphone. Il a montré que l'effet du trans-

metteur à charbon d'Edison n'était pas dû à quelque influence de variation de pression sur la masse du charbon, mais que c'était plutôt un phénomène de relâchement de contact. Il a trouvé un fait nouveau et il a surexcité l'attention du monde scientifique en le dotant d'un appareil qui est pour les tout petits sons ce que le microscope était déjà pour les tout petits objets. Grâce à la clarté que la découverte de Hughes a jetée sur la théorie de l'appareil, le transmetteur à charbon d'Edison a pu être perfectionné par Blake, Huning, Moseley, Anders et autres, au point qu'il semble rester bien peu de chose à faire encore. Le téléphone, comme appareil de conversation, est bien près maintenant de la perfection. L'on est arrivé à pouvoir aisément distinguer la voix d'un ami à 100 milles de distance. La difficulté de rendre le téléphone pratique en toutes circonstances ne provient d'aucune défectuosité de l'appareil lui-même, mais des influences perturbatrices qui lui sont extérieures et qui résultent du milieu où il fonctionne. C'est la grande perfection et l'extrême sensibilité de l'appareil lui-même qui sont ses principaux ennemis.

La véritable action du microphone ou transmetteur à charbon est généralement très peu comprise. Dans un circuit fermé à travers lequel circule un courant, il introduit une résistance qui, variant exactement avec les vibrations sonores qui la frappent, fait onduler le courant d'une manière exactement semblable aux variations des ondes sonores. L'on attribue généralement cet effet à l'intimité plus ou moins grande d'un contact électrique entre deux surfaces semi-conductrices appuyées l'une contre l'autre; mais l'on ne peut plus guère douter que ce ne soient là des effets de la chaleur produite par le passage de l'électricité entre deux points en contact

imparfait, dont la distance relative est variable. Le charbon est la meilleure matière pour cet objet; d'abord, parce qu'il est inoxydable et infusible; en second lieu, parce qu'il est un médiocre conducteur et, troisièmement, parce qu'il jouit de cette propriété remarquable que sa résistance diminue avec l'augmentation de sa température, ce qui est l'inverse des métaux. Cette observation est due à M. Shelford Bidwell.

La résistance des microphones est très variable; quelques-uns accusent 10ω (*), tandis que d'autres donnent 20ω et même 125ω. Les meilleurs transmetteurs avec lesquels j'ai opéré (ceux de Moseley) donnent une moyenne de 20ω. L'on a essayé d'appliquer l'analyse mathématique à la détermination des meilleures forme et disposition des microphones, mais jusqu'à présent le microphone a défié les calculs théoriques.

La théorie conduirait à la conclusion qu'un transmetteur à charbon devrait avoir la plus petite résistance possible, mais c'est ce que la pratique ne confirme nullement.

La théorie établit encore que la résistance de la bobine secondaire d'induction devrait être égale à celle de la ligne; la pratique prouve que c'est tout le contraire. Sur une ligne ayant près de 1800ω de résistance, les meilleurs effets ont été obtenus avec un fil secondaire n'ayant que 30ω de résistance. Le fait est que les conditions résultant de la chaleur dans le microphone et de la *self-induction* dans la bobine d'induction sont très compliquées et ne sont pas encore suffisamment expliquées, pour que les phénomènes qu'elles accusent puissent être portés dans le domaine de l'analyse mathématique.

(*) 10 ohms.

Accessoires. Je n'ai point l'intention de parler ici des sonneries, des appels, des permutateurs, etc., que l'on emploie dans les opérations téléphoniques. Il n'y a là rien de particulièrement nouveau ou qui n'ait pas déjà été employé dans la télégraphie. En réalité, toutes les opérations accessoires de ce que l'on appelle les communications téléphoniques (*telephone-exchanges*) sont purement télégraphiques, et elles sont quelque peu à l'état de tâtonnement.

Conversations à longues distances. — J'ai déjà dit que la difficulté de la conversation téléphonique provient principalement du milieu que parcourent les fils employés. Si nous établissions un fil de Land's End à John O'Groats (*), sur de hauts poteaux spéciaux et loin de tout autre fil, il n'y aurait aucune difficulté quelconque à s'entretenir entre ces deux localités. En Amérique, l'on a conversé à des distances de plus de 410 milles (650 kilomètres). En Perse, on s'est entretenu entre Tabreez et Tiflis, qui sont éloignés de 390 milles (625 kilomètres) ; aux Indes à une distance de près de 500 milles (800 kilomètres), en Australie de 300 (480 kilomètres) ; mais ces conversations avaient toujours lieu soit la nuit, soit dans des circonstances exceptionnelles, et, dans tous les cas, les fils étaient aériens. S'ils avaient été souterrains ou sous-marins, la chose eût été bien différente. On a pu converser entre Douvres et Calais, entre Darmouth et Guernesey, entre Holyhead et Dublin, mais je ne connais pas d'exemple où l'on ait conversé au delà de plus de 100 milles (185 kilomètres)

(*) Ces deux localités sont situées l'une à la pointe S.-O. de Cornouailles, en Angleterre, l'autre à l'extrémité N.-E. de l'Écosse ; par conséquent, la ligne qui les unirait traverserait la Grande-Bretagne dans sa plus grande longueur.

de câble immergé. Cette diminution de la portée de la conversation provient de la capacité électro-statique de la ligne télégraphique qui absorbe la faible quantité d'électricité produisant les courants employés pour la téléphonie.

Dans chaque câble sous-marin, avant qu'un signal parvienne à l'extrémité de réception, il faut que le câble entier soit chargé d'électricité, et s'il n'en est pas émis une quantité suffisante pour atteindre ce résultat, en fait, aucun signal ne se manifeste à l'extrémité opposée. Avec les courants téléphoniques sur les longs câbles, toute l'électricité est comme absorbée, c'est-à-dire qu'il n'en paraît aucune trace à l'extrémité opposée ou bien, s'il s'en manifeste, c'est sous forme d'une ondulation continue, incompatible avec ces variations rapides qui reproduisent les vibrations sonores. Les journaux ont prétendu qu'on avait entendu à Malte le bombardement d'Alexandrie ; mais d'abord, l'expérience n'a pas été faite et, si on l'avait tentée, elle n'aurait pas réussi. L'emploi de fils souterrains est un obstacle très sérieux à l'extension du téléphone, et, avec nos appareils actuels et nos connaissances présentes, nous ne pouvons réellement converser à de plus grandes distances que 20 milles (32 kilomètres).

Perturbations. — Mais le service téléphonique a aussi à lutter contre des influences perturbatrices d'une plus grande importance.

Quand deux ou plusieurs fils téléphoniques suivent latéralement le même trajet, ce qui se dit dans l'un peut être entendu dans tous les autres; et lorsqu'un fil téléphonique est posé sur une ligne télégraphique, chaque courant du circuit télégraphique se répète dans le téléphone et s'y traduit par des sifflements, des crépitations

et des pétillements qui non seulement sont très agaçants, mais qui, sur des lignes chargées, empêchent toute conversation. De même, si l'on transmet sur un des fils des sons musicaux, on peut les entendre sur tous les fils contigus qui courent parallèlement. Ces effets sont dus à l'induction et aux dérivations.

a) *Induction.* — L'induction est le terme dont on se sert pour désigner cet effet particulier qu'exercent les corps électrifiés ou les masses conductrices et magnétiques qui se trouvent dans leur voisinage. Si deux fils suivent côte à côte pendant quelque temps le même trajet, tout courant d'électricité émis sur l'un d'eux produira dans le fil contigu deux courants, l'un au commencement et l'autre à l'expiration du premier courant d'électricité. Plus est grande l'intensité, plus sont brusques et soudaines la production et la cessation du courant inducteur et plus sera grand l'effet qu'il produira sur le fil induit. Les puissants courants alternatifs et intermittents qu'on emploie pour certains systèmes de lumière électrique sont la mort des téléphones. Ils y produisent un ronflement incessant qui rend impossible toute conversation. Il y a en télégraphie quelques appareils dont le fonctionnement exige des courants très puissants ; ils sont également pernicieux pour les téléphones. L'on a fait bien des essais pour remédier à ce danger.

1° On a réduit la sensibilité du récepteur de façon à amoindrir l'influence des courants perturbateurs et augmenter la force des courants téléphoniques émis de façon à triompher des courants induits;

2° On a protégé les fils contre l'influence qu'ils exercent l'un contre l'autre, en introduisant entre eux des écrans métalliques en communication avec la terre;

3° On a diminué par l'intercalation de condensateurs

ou d'électro-aimants, la soudaineté de la production et de la cessation des courants inducteurs;

4° On a imaginé des appareils de contre-induction pour contrebalancer ou neutraliser les effets d'induction.

Mais tous ces moyens et bien d'autres n'ont obtenu qu'un succès partiel ou ont complètement échoué. Le seul procédé efficace, actuellement pratique, pour remédier au mal, est d'employer un circuit entièrement métallique, disposé de façon que les deux fils soient très rapprochés l'un de l'autre ou qu'ils tournent l'un autour l'autre de manière à maintenir entre eux et les fils perturbateurs une distance moyenne égale. Lorsque les deux fils d'un circuit se trouvent à la même distance moyenne des causes perturbatrices, quelque près que soient celles-ci, leur influence sur chacun des deux fils sera identiquement la même, et comme l'un des fils sert à l'aller et l'autre au retour, ces influences semblables seront forcément opposées en direction et, dès lors, se neutraliseront mutuellement. Ce système, imaginé dans l'origine pour des fils souterrains par M. Brooks, de Philadelphie, s'est vérifié absolument dans la pratique, et après avoir établi bien des centaines de milles de ce système avec un parfait succès, l'Administration britannique a adopté invariablement ce mode de construction pour tous les circuits tant souterrains qu'aériens. Cela revient, naturellement, plus cher qu'un simple fil, mais le grand avantage de garantir absolument le secret de la correspondance et l'absence de toute crépitation méritent bien ce surcroît de dépense. Dans les câbles sous-marins les fils sont toujours enroulés en hélices; ils n'ont donc besoin d'aucune disposition spéciale, et pour les fils souterrains qui ne sont pas enroulés en câbles, ils sont

généralement si rapprochés les uns des autres que leur enroulement n'est pas nécessaire; mais pour les fils aériens, cet enroulement est essentiel et il faut prendre à cet effet des dispositions spéciales. Le professeur Hughes a indiqué comment la chose devait se faire, et MM. Moseley en ont fait l'application pratique dans la banlieue de Manchester. Les *fig.* 5 et 6 montrent la disposition adoptée par le Post Office.

Autour de cette ville, il y a plus de 400 milles de doubles fils aériens ainsi enroulés qui fonctionnent très régulièrement. J'ai conversé sans trouble ni diffficulté avec un ami à 76 milles (environ 120 kilomètres), bien que les fils fussent posés sur les poteaux d'une ligne télégraphique très chargée.

b) *Dérivations.* — Le système du double fil n'est absolument efficace qu'autant que l'isolation est bonne. Du moment que l'isolation fait défaut, il s'établit une communication avec la terre et il intervient alors des éléments de perturbation provenant des courants qui circulent dans le sol et dont l'importance augmente en proportion du défaut d'isolation. La bonne isolation est donc une condition essentielle pour le service téléphonique.

La découverte du téléphone nous a expliqué un autre phénomène. Elle nous a permis de mettre hors de doute le fait que le courant électrique traverse réellement la croûte terrestre. La théorie que la terre agit pour l'électricité comme un grand réservoir peut être mise au panier qui a déjà englouti tant d'autres théories des physiciens, comme la matérialité de la lumière et autres hypothèses. On a relié des téléphones à un fil allant du sous-sol au rez-de-chaussée d'un grand bâtiment, en employant les tuyaux de gaz comme conducteur de retour et l'on y a distinctement entendu les signaux émis

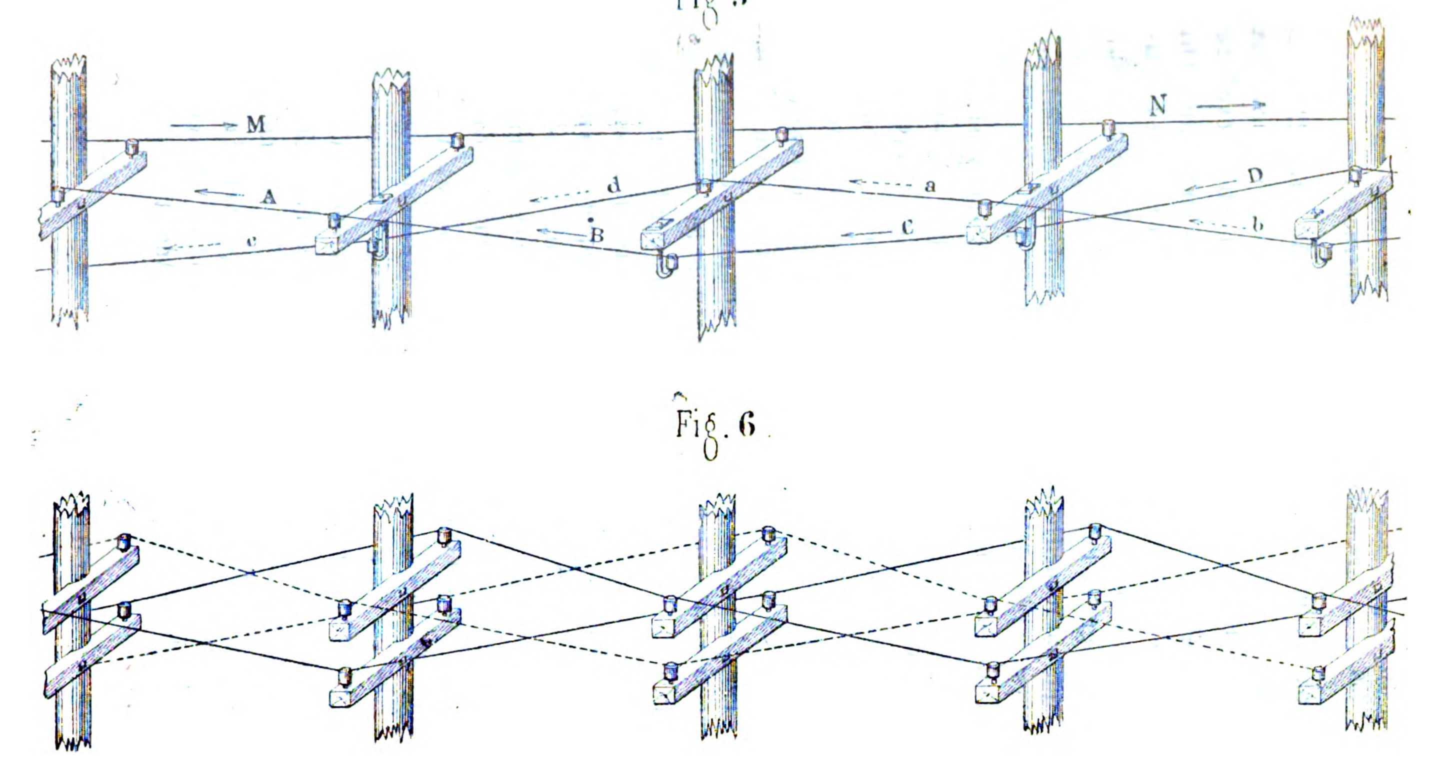


Fig. 6.

par un bureau télégraphique situé à 250 yards (225 mètres de distance). C'est un fait que, si l'on recours aux conduites de gaz ou d'eau, il est impossible d'exclure les signaux télégraphiques du circuit téléphonique. On mentionne des cas de circuits téléphoniques établis à plusieurs milles de distance de tout fil télégraphique, mais sur une ligne se terminant par des communications à la terre, qui ont recueilli des signaux télégraphiques. Quand un système de lumière électrique emploie la terre, il empêche toute communication téléphonique dans son voisinage.

Toutes les communications téléphoniques de Manchester ont un jour été interrompues pour cette cause, et dans la Cité de Londres, l'effet, une fois, a été assez considérable, non seulement pour paralyser toute communication téléphonique, mais encore pour faire tinter les sonneries. Un circuit téléphonique où la terre est employée pour le retour du courant, est employé comme une dérivation (*shunt*) à la terre, saisissant les courants qui passent, en proportion de la résistance relative de la terre et du fil. La terre présente une résistance et, par conséquent, suit la loi d'Ohm. En conséquence, non seulement il est essentiel pour un circuit téléphonique qu'on n'emploie la terre pour aucun système de lumière électrique, mais encore il est désirable que la terre soit aussi exclue des communications téléphoniques. Ainsi, le système du double fil adopté par l'Administration britannique et par la Société générale des téléphones de Paris, non seulement remédie aux effets funestes de l'induction, mais diminue matériellement les influences perturbatrices des dérivations à la terre. Le système des quatre fils de l'Administration britannique empêche avec efficacité les dérivations d'un fil sur l'autre — le contact en croix, comme nous l'appelons en Angleterre — car

chaque fil du même circuit est toujours sur un bras différent du support.

Un circuit téléphonique en communication avec la terre accuse distinctement tout éclair visible, si loin que puisse être l'orage. L'on n'a pas observé la moindre différence de temps entre l'apparition de l'éclair et l'audition du crépitement.

L'on a dit que si un circuit téléphonique passe entre les conduites de gaz et d'eau d'une maison, il accusera tout éclair. Il y a eu quelques cas de personnes renversées, en manœuvrant un téléphone pendant l'orage, mais l'on a pas appris qu'il y ait eu de grave accident de personne, bien que l'appareil ait été fortement endommagé. Jusqu'à présent, en Angleterre, nous n'avons pas jugé ces détériorations suffisantes pour justifier l'emploi de parafoudres. L'usage des doubles fils réduit le danger à son minimum Toutefois, sur le continent et en Amérique, où l'on n'emploie qu'un seul fil, les téléphones sont toujours protégés par des parafoudres.

Il y a certains courants naturels qui parcourent l'écorce terrestre. On les nomme courants telluriques et, parfois, ils acquièrent une énergie si considérable, qu'avec un téléphone appuyé à chaque oreille ils produisent, m'a-t-on dit, car je n'ai pas expérimenté le fait moi-même, un trouble comme « si le cerveau bouillonnait ». Cet effet provient des courants intermittents que produit la polarisation des plaques de terre.

M. Van Rysselberghe a récemment conversé entre Paris et Bruxelles sur un fil de près de 200 milles (360 kilomètres) de longueur qui servait, en même temps, à la transmission télégraphique ordinaire; mais l'expérience a eu lieu de très grand matin (à quatre heures) et s'est effectuée en retardant, au moyen de condensateurs et d'électro-aimants, les courants télégraphiques,

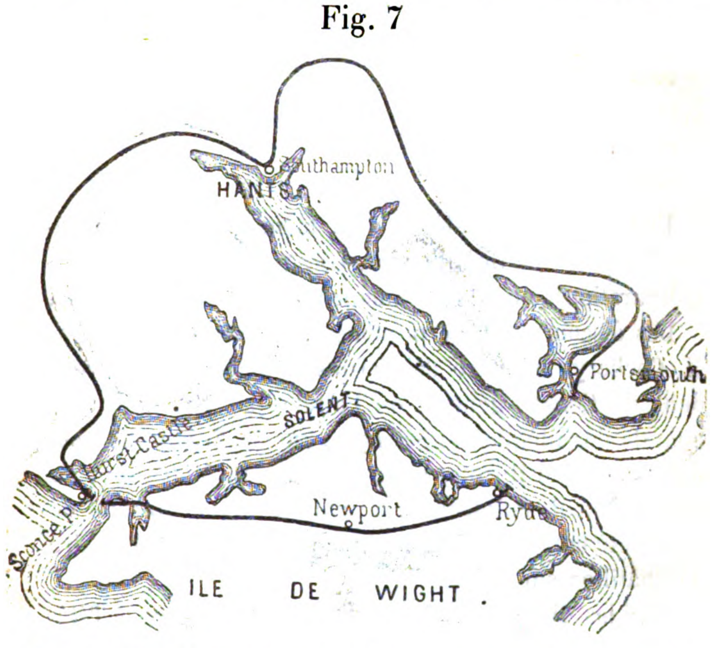
de façon à diminuer la soudaineté de leur production et de leur cessation. Je ne me rends pas compte de l'avantage qu'il peut y avoir à parler sur un fil au détriment de la communication télégraphique. La rapidité est une chose plus importante que la conversation, et nous pouvons télégraphier beaucoup plus vite que nous ne parlons. En Angleterre, la rapidité n'est point chose indifférente, et nous écartons toute influence qui diminue la vitesse de transmission — les condensateurs et les électro-aimants des circuits télégraphiques étant hors de la question. M. Van Rysselberghe a essayé d'arriver à paralyser les effets de l'induction en détruisant la principale cause de trouble, c'est-à-dire en diminuant la soudaineté de la production et de l'émission des courants prépondérants de la télégraphie; mais ce n'est pas autre chose que de retarder la transmission télégraphique. Or, entraver un système pour améliorer l'autre n'est pas une solution que nous soyons disposés à adopter en Angleterre.

J'ai tenté récemment une expérience très intéressante entre cette ville (Southampton) et l'île de Wight, consistant à *communiquer à travers les eaux du canal sans aucun aide de fils* (*fig.* 7). On a immergé de grandes plaques métalliques dans la mer aux extrémités opposées de la Solent, à savoir, à Portsmouth et à Ryde que sépare un bras de mer de six milles (11 kilomètres), et à Hurst Castle et Sconce Point, où le détroit a une largeur d'un mille (1855 mètres). Les plaques de Portsmouth et d'Hurst Castle étaient reliées par un fil passant par Southampton et les plaques de Ryde et de Sconce Point par un fil passant par Newport. Le circuit était complété par la mer. Les signaux ont passé aisément de façon à pouvoir lire au Morse, mais on n'a pas pu converser.

Le téléphone gagne très rapidement du terrain et,

comme on perfectionne ses accessoires, ses installations et son mode de fonctionnement, son usage continuera à s'étendre. En Allemagne, l'on en fait grand usage pour

Fig. 7



le service télégraphique; 1280 bureaux y fonctionnent exclusivement avec le téléphone, mais en Angleterre, il n'est pas possible de garantir, dans les nombreux locaux ouverts et publics qui servent de bureaux de poste, l'isolement qu'exige la téléphonie et nous n'avons pas encore oublié les premiers préjudices causés par les erreurs provenant de l'incapacité de l'appareil, dans sa forme primitive, à reproduire les sifflantes. Les appareils actuels, toutefois, grâce au perfectionnement des transmetteurs, transmettent parfaitement le « s's ».

INAUGURATION

DE LA

STATUE ÉLEVÉE A A.-C. BECQUEREL.

Une statue a été élevée à la mémoire d'Antoine-César-Becquerel, à Châtillon-sur-Loing, sa ville natale. L'inauguration a eu lieu le dimanche 24 septembre dernier.

Des discours ont été prononcés, à cette occasion, par M. Cochery, ministre des Postes et Télégraphes, président du Conseil général du Loiret; par M. Dumas, au nom de l'Académie des Sciences; par M. Frémy, au nom du Muséum d'Histoire naturelle; par M. Mercadier, au nom de l'École Polytechnique; par M. Barral, au nom de la Société nationale d'Agriculture; enfin, par M. le maire de Châtillon-sur-Loing.

Voici les discours de M. le Ministre des Postes et Télégraphes et de M. Mercadier.

DISCOURS DE M. COCHERY.

Messieurs,

Je ne viens pas faire un discours et vous retracer la brillante carrière d'Antoine-César Becquerel. Cette mission est, à bon droit, réservée aux savants éminents qui ont bien voulu prendre part à cette cérémonie.

Votre député désire uniquement vous associer, par quelques paroles, à la grande manifestation qui se produit aujourd'hui dans votre ville.

Dix-huit mois se sont à peine écoulés depuis le jour où vous affirmiez la liberté de conscience en inaugurant la statue

de l'amiral Coligny sur une des places de Châtillon. Je me rappelle en quels termes éloquents et sympathiques mon collègue et ami, M. d'Eichthal, conseiller général du canton, caractérisait l'acte que vous accomplissiez.

Aujourd'hui, c'est la Science que vous honorez dans l'un des plus illustres enfants de Châtillon.

Antoine-César Becquerel naquit à Châtillon, le 7 mars 1788.

Sorti à vingt ans de l'École polytechnique, il obéit à la loi du moment en entrant dans la carrière militaire. Ses goûts, du reste, semblaient l'y porter. En quelques années, il gagna rapidement les grades de lieutenant, de capitaine, de chef de bataillon.

Il prit part aux campagnes d'Espagne et de France, et fut plusieurs fois cité à l'ordre du jour de l'armée.

C'est avec justice que le grand artiste auquel a été confiée l'exécution de cette statue a inscrit, sur le piédestal, divers faits d'armes auxquels Becquerel prit une large part, notamment le siège de Tarragone.

Chargé d'élever une redoute, Becquerel n'avait avec lui qu'une cinquantaine d'hommes. Les Espagnols, sortant à l'improviste des lignes assiégées, viennent l'assaillir. Il est en même temps menacé par les Anglais qui opèrent un débarquement. Le jeune lieutenant ne se trouble pas; d'assiégeant devenu assiégé, il se barricade à la hâte dans sa position et la défend énergiquement. Il donne à l'armée française le temps d'accourir à son secours. Les Espagnols sont repoussés dans leurs murs, les Anglais obligés de se rembarquer. Becquerel peut continuer l'établissement de sa redoute.

Il prit ensuite part à la campagne de France, et quand les armées alliées s'approchèrent de Paris, il accourut pour défendre la capitale. Il arriva alors que la reddition venait d'être signée. Nous avons connu de pareilles tristesses. N'en perdons pas le souvenir, chers compatriotes, et puisse-t-elles nous faire oublier nos dissentiments en nous réunissant autour du drapeau national!

Becquerel dépose son épée devenue impuissante à défendre notre territoire. Il va servir son pays dans une nouvelle carrière. La Science s'offre à lui. Il lui restera fidèle pendant soixante-cinq années.

Il touchera bien un peu à la politique, mais il y touchera si peu qu'il désarmera ses adversaires eux-mêmes par sa bonhomie.

Une science nouvelle se dégageait : la science de l'électricité. Après Galvani, après Volta, Ampère et Arago en ouvraient le sillon. Elle étonnait sans révéler encore ses mystères. Becquerel devient un de ses apôtres. Il apporte à ses travaux cette ardeur qui ne devait pas abandonner plus tard le savant devenu octogénaire, cette ténacité qui le conduisait toujours sûrement au succès.

Je devrais m'effacer devant vous, messieurs, qui, illustres compagnons des travaux de Becquerel, venez rendre un éclatant hommage à sa mémoire. Mais je ne peux oublier que la grande gloire de Becquerel, ce sont ses découvertes, qui ont fait progresser avec tant d'éclat la science électrique et surtout celles qui ont amené la puissante expansion de la télégraphie.

Je me trouve avoir cette bonne fortune d'être appelé, dans le département que je représente, à présider une cérémonie en l'honneur de l'un de nos plus grands électriciens. Vous ne pardonneriez pas au Ministre qui a les télégraphes dans ses attributions de garder le silence sur les services éminents rendus par Becquerel.

L'Exposition d'électricité de 1881 a constaté les progrès de cette science; elle a surtout fait pressentir les développements que lui réserve l'avenir. L'électricité est partout : c'est une force incomparable qui promet à l'industrie des conquêtes sans limites. Elle s'est déjà vulgarisée par la télégraphie, par la téléphonie; elle donne la lumière, sert à la transmission de la force, aide la galvanoplastie, la chirurgie. Son domaine est immense, il s'étendra indéfiniment.

La gloire de Becquerel sera d'avoir été l'un des initiateurs de cette science. On vous dira tout à l'heure ce qu'il a fait, quels ont été ses travaux, quels merveilleux résultats il a obtenus. Il n'a pas publié moins de cinq cent ving-neuf Ouvrages ou Mémoires. Son œuvre, comme le disait un homme d'esprit, dépasse l'œuvre du plus fécond de nos romanciers.

Il me suffira de vous citer les nombreuses et brillantes expériences par lesquelles, complétant l'œuvre de Davy, il a établi

que toutes les actions chimiques développent l'électricité. Il a appliqué l'électro-chimie au traitement des métaux précieux : la dorure et l'argenture lui doivent leurs progrès.

Il a fixé les lois des phénomènes thermo-électriques et a pu ainsi créer le thermomètre électrique, qui permet de déterminer la température de la terre à de grandes profondeurs et même d'explorer les corps des êtres vivants.

Il a doté la science du galvanomètre différentiel et de la balance électro-dynamique, qui fournissent de si précieuses ressources aux recherches des physiciens.

C'est de son laboratoire que sont sorties les premières piles à deux liquides. Les variations de la pile de Volta rendaient ses applications difficiles. Becquerel en cherche, en pénètre les causes : il crée la pile à courant constant. La télégraphie a fait, grâce à lui, un pas décisif.

Je veux m'arrêter. Le sujet serait inépuisable. Becquerel fut, en effet, d'une puissante fécondité.

L'homme n'en était pas moins resté bon, simple, affectueux. Vous l'avez tous vu se passionnant pour ses jacinthes, pour ses vignes. Avec quelle joie il vous montrait les quelques bibelots qu'il avait pu réunir. Ce n'était pas sa science qui faisait son orgueil, il la considérait comme son devoir.

Mais il avait un sentiment de fierté ineffable quand il jetait les yeux sur son fils qui suivait si vaillamment ses traces, sur son petit-fils aux succès duquel il eut heureusement le temps d'applaudir.

L'existence de Becquerel a été bien et utilement remplie; son image, se dressant sur une place publique de Châtillon, sera un puissant et fécond enseignement pour nos générations futures.

DISCOURS DE M. MERCADIER.

Messieurs,

L'homme dont nous inaugurons aujourd'hui la statue fut un glorieux élève de l'École polytechnique, et cette école qu'il aimait, où son fils fut admis, et qui compte aujourd'hui son petit-fils au nombre de ses répétiteurs, devait tenir à lui rendre un hommage public.

Quand Becquerel y entra, il y avait à peine dix ans que la Convention l'avait fondée, dans des circonstances terribles, pour faire des ingénieurs civils ou militaires, et, s'il était possible, des savants.

Becquerel réalisa l'idéal de la fondation : il fut à la fois ingénieur, militaire et savant, ou plus exactement l'un après l'autre, car il fit de sa vie deux parts fort inégales.

Permettez-moi d'en rappeler d'abord la seconde partie. Elle commença quand il avait vingt-sept ans; il la consacra tout entière à la Science. Pendant plus de soixante ans, il travailla sans cesse, et, jusqu'aux derniers jours de sa longue vie, à l'âge le plus avancé, il travaillait encore avec l'ardeur de la jeunesse, avec une vivacité, un respect de la vérité, une énergie, une perspicacité que l'âge n'avait pas altérés.

Dans le cours de cette longue carrière scientifique, il effectua les travaux les plus variés qui, tous, présentent le même caractère et les mêmes qualités dominantes : l'ingéniosité, la patience tenace, l'originalité, la conception rapide et nette des expériences à faire pour venir à bout d'une recherche, l'habileté intellectuelle et manuelle pour les exécuter.

Son premier travail, qui date de 1819, offre déjà ce caractère : il est relatif à la Minéralogie et à la Géologie. Il découvrit, à Auteuil, de la chaux phosphatée et du sulfure de zinc et étudia plusieurs formes nouvelles de chaux carbonatée trouvées dans la Nièvre.

Mais il abandonna immédiatement cette voie pour se livrer à l'étude de l'électricité et du magnétisme. La grande découverte d'Œrstedt, en 1820, détermina chez lui sans doute, comme chez de la Rive, par exemple, cette direction à ses travaux. Quoi qu'il en soit, il n'abandonna plus ce genre de recherches et en consigna les résultats dans de nombreux Mémoires insérés dans les *Annales de Chimie et de Physique*, dans les *Recueils de l'Académie des Sciences*, dans les Ouvrages didactiques qu'il publia successivement : un *Traité d'électricité et de magnétisme*, en 1834; un *Traité de Physique dans ses rapports avec la Chimie* (1844), un *Traité de magnétisme* (1845), des *Éléments de Physique terrestre et de Météorologie* (1847), et plusieurs autres.

Ses premiers travaux d'électricité furent relatifs à l'étude

des sources d'électricité statique. Il fit voir que, par le clivage d'un cristal, les deux lames séparées sont chargées d'électricité contraire. Reprenant des expériences incomplètes de Libes et de Haüy, il montra que le développement d'électricité par la pression des corps les uns contre les autres est un fait général. Il étudia, dans divers Mémoires, le développement de l'électricité par le contact des solides, des liquides, des gaz; et fit notamment une étude approfondie des effets du frottement sur les métaux. Se servant habilement du galvanomètre, et évitant les effets thermo-électriques, il put faire une classification des métaux d'après la facilité plus ou moins grande qu'ils ont de prendre l'électricité positive ou négative par le frottement.

Ces phénomènes se rattachent intimement aux actions thermo-électriques. Dès 1823, Becquerel avait étudié, à la suite de Seebeck, qui les avait découverts, les effets électriques produits par la chaleur sur les métaux. Il montra la production d'électricité en chauffant deux portions dissymétriques d'un circuit métallique homogène. Revenant sur ce sujet, en 1830, il classa les principaux métaux dans un ordre déterminé relativement à la thermo-électricité.

Au même ordre d'idées se rattachent son étude sur la pyroélectricité de la tourmaline et l'invention du *thermomètre électrique*, à l'aide duquel on peut déterminer, à distance, la température des parties intérieures des animaux et des végétaux sans produire de lésions appréciables, la température des points élevés de l'atmosphère ou des points situés au-dessous du sol à des profondeurs variables.

D'autre part, Becquerel prit une part active aux discussions qui s'élevèrent, de 1820 à 1830, entre les électriciens, sur la question de savoir si l'origine de l'électricité de la pile était le contact, comme le disait Volta, ou l'action chimique des liquides sur les métaux. Dans une série de Mémoires, publiés à diverses reprises, en 1823, 1824, 1827, 1849, Becquerel fit tous ses efforts, comme de la Rive, son émule, pour soutenir la théorie chimique. Il montra, par des expériences répétées, qu'il y avait de l'électricité développée dans toutes les actions chimiques, et en particulier dans l'action des acides sur les métaux. Il énonça le premier cette loi générale que, lorsqu'un

corps se combine avec un autre, celui qui se comporte comme acide rend libre de l'électricité positive, et celui qui agit comme base, de l'électricité négative. A l'aide de l'électroscope de Bohnenberger perfectionné, il montra que les piles produisaient des effets de tension analogues à ceux de l'électricité statique; que les décompositions chimiques produisaient des effets inverses de ceux qui se manifestent dans les combinaisons, et trouva, en un mot, le premier, les lois générales du développement de l'électricité dans les actions chimiques.

Enfin, en 1829, Becquerel, rendant compte de la diminution graduelle d'intensité dans les piles à un seul liquide, construisit le premier des *piles à courant constant*, d'après le principe, universellement adopté depuis, de deux liquides, tels que l'eau acidulée et le sulfate de cuivre, séparés par une cloison poreuse. Dans le premier plonge un métal attaquable comme le zinc et dans l'autre un autre métal comme le cuivre, sur lequel se dépose le cuivre provenant de la réduction du sulfate par l'hydrogène. Sept ans plus tard, Daniell ne fit que reproduire les couples de Becquerel en améliorant seulement leur forme, et l'on dit depuis : la pile Daniell!... C'est vraiment le cas de rappeler ici le mot du poète : *Sic vos non vobis*... Mais qu'importe! Becquerel avait incontestablement découvert le principe et l'avait réalisé le premier. Cela suffit à sa gloire.

Quelques années avant, en 1825, Becquerel avait cherché à déterminer la conductibilité relative des métaux pour l'électricité. Les courants constants n'ayant pas encore été trouvés, la question présentait une grande difficulté; car il fallait se préserver des variations d'intensité des piles dans le cours des expériences. A cet effet, il imagina un instrument nouveau et une méthode d'observation nouvelle. Il eut l'idée d'enrouler, sur le même cadre d'un galvanomètre, deux fils identiques isolés l'un de l'autre et de comparer deux courants électriques en les faisant passer en sens inverse dans chacun des deux fils : des courants égaux devaient évidemment ramener l'aiguille du galvanomètre au zéro de la graduation. Il créait ainsi le GALVANOMÈTRE *différentiel*, qui a reçu récemment, en *télégraphie*, une application inattendue, et la méthode d'ob-

servation, qu'on peut appeler *différentielle*, méthode remarquable, sans cesse employée depuis, qui, par sa rapidité d'exécution, mettait à l'abri des variations d'intensité des piles et donnait une grande sécurité pour les résultats. C'est à l'aide de cet instrument et de cette méthode qu'il put donner un tableau des conductibilités relatives des métaux et qu'il démontra le premier que, dans un circuit fermé parcouru par un courant, l'intensité est la même dans tous les points du circuit, et que le pouvoir conducteur d'un fil métallique est proportionnel à sa section et en raison inverse de sa longueur.

Nous ne pouvons qu'indiquer ici les principaux travaux de Becquerel ; mais on ne saurait passer sous silence sa *balance électro-magnétique*, avec laquelle on détermine l'intensité d'un courant en le faisant passer à travers des hélices, à l'intérieur desquelles se meut un aimant suspendu par un fil de soie au plateau d'une balance. C'était un essai très ingénieux d'évaluer des effets électriques en les transformant en un effet mécanique directement mesurable à l'aide de poids.

Coulomb avait ouvert cette voie pour l'électro-statique ; Becquerel l'ouvrait pour l'électro-dynamique ; aujourd'hui, qu'il est sans cesse question de mesures électriques évaluées en unités mécaniques ou *absolues*, il ne faudrait pas oublier les tentatives des précurseurs.

C'est encore Becquerel qui a réuni, sous le nom d'*Électrochimie*, ainsi que l'a justement rappelé M. Fizeau, dans le Discours prononcé sur la tombe de son collègue, un ensemble de phénomènes nouveaux très variés et touchant à la fois à la Physique, à la Chimie, à la Géologie. « Qui n'a pas « admiré, disait M. Fizeau, les expériences élégantes faites « avec de petits éléments de piles à actions lentes et con« stantes, par lesquelles les diverses substances sont décom« posées, combinées, transportées, prennent diverses formes « de cristaux semblables à ceux de la nature, ou donnent lieu « à des colorations brillantes utilisées dans l'industrie ?... » Becquerel chercha à aller plus loin dans cette voie, et il essaya d'appliquer ces procédés au traitement en grand des minerais d'argent, de cuivre, de plomb, etc. ; et actuellement,

à l'heure qu'il est, ces procédés vont devenir industriels.

Élu membre de l'Académie des Sciences en 1829, en remplacement de Lefèvre-Gineau; honoré en 1837 de la médaille de Copley, décernée par la Société royale de Londres, Becquerel fut nommé, en 1838, professeur de physique au Muséum d'Histoire naturelle; il y fonda un enseignement nouveau dans lequel il développa, pendant près de quarante années, des applications variées de la Physique à l'Histoire naturelle des animaux, des végétaux et des minéraux. C'est là qu'il a travaillé, c'est là qu'il faisait, dans les dernières années de sa vie, ses belles recherches sur les phénomènes électro-capillaires, qui touchent à la mécanique moléculaire, et où il mettait en évidence les actions de forces infiniment petites; c'est là qu'il est mort, à quatre-vingt-dix ans, laissant dans la Science un nom honoré et, dans sa famille, une tradition scientifique dignement continuée.

Telle fut, messieurs, la seconde partie de cette vie si pleine; mais, quels qu'en soient les mérites et l'éclat, gardons-nous bien d'oublier la première.

Le maître éminent qui a conçu et exécuté cette belle statue ne l'a pas oubliée, et, parmi les accessoires qui rappellent aux yeux de tous les titres scientifiques de Becquerel à la reconnaissance publique, il a placé le gabion du sapeur du génie; le sculpteur a tenu à rappeler qu'avant d'être un savant, Becquerel fut un soldat.

En 1806, à dix-huit ans, il entrait à l'École polytechnique; il en sortait en 1808 dans le génie militaire, au moment où Napoléon, qui appelait l'École sa *poule aux œufs d'or*, commençait, semblable à l'homme de la fable, à la saigner aux quatre veines et en dispersait les poussins sur tous les champs de bataille de l'Europe, depuis l'Autriche jusqu'au Portugal!

Il ne resta qu'un an à l'École d'application : on avait trop besoin d'officiers du génie; il partit pour l'Espagne, en cette qualité, à vingt et un ans. Là, pendant quatre ans, il assista à tous les épisodes de cette lutte sanglante. Sous les ordres du général Rogniat, il prit part notamment aux sièges de Tortose, de Tarragone, de Valence, et, au siège de Sagonte, il monta à l'assaut le premier.

Revenu en France en 1812, il fut nommé, en 1813, inspec-

teur des études à l'École polytechnique; mais il n'y resta qu'un an. L'Empire s'affaissait; le pays était envahi au sud et à l'est; l'homme dont l'ambition démesurée avait causé ce désastre défendait bien le territoire pas à pas, avec une poignée d'hommes et en déployant toutes les ressources de son génie; mais c'était la fin! Becquerel fit énergiquement son devoir dans cette héroïque épopée de 1814 : comme ses élèves de l'École, il prit part à la défense de Paris. En vain! la terrible partie était trop inégale : Becquerel fut parmi les vaincus; mais, du moins, suivant une tradition nationale, il contribua glorieusement à sauver l'honneur!

A la chute de l'Empire, il était chef de bataillon et décoré de la Légion d'honneur; il avait vingt-sept ans; une brillante carrière était ouverte devant lui; il y renonça volontairement pour se consacrer aux études scientifiques. Le pays n'y perdit rien; il lui en doit, au contraire, une double reconnaissance.

Quant à l'École que j'ai l'honneur de représenter ici, où l'on enseigne, par la parole et par l'exemple, que la première vertu d'un citoyen est le patriotisme, j'apporte en son nom, à Becquerel, un double hommage : l'un au savant électricien dont les découvertes devenues classiques honorent le pays; l'autre au vaillant soldat qui, aux heures sombres de l'invasion, défendit énergiquement et sans défaillance le sol sacré de la patrie!

CHRONIQUE.

Conférences internationales pour la fixation des unités électriques et la protection des câbles sous-marins.

Le Congrès des électriciens de 1881 avait laissé en suspens quelques questions importantes, en exprimant le vœu que des commissions internationales fussent chargées de les étudier spécialement.

Ces diverses questions se rapportaient :

1° A la fixation définitive de l'unité absolue de résistance électrique, désignée sous le nom d'ohm;

2° A la détermination d'un étalon de lumière;

3° A l'étude systématique de l'électricité atmosphérique;

4° Aux moyens à adopter pour protéger les câbles sous-marins.

Deux commissions internationales ont été chargées de l'étude de ces diverses questions.

La première a eu à s'occuper des trois premiers points indiqués par le Congrès; quant au quatrième, relatif à la protection des câbles sous-marins, il a été étudié par la seconde commission.

Nous reviendrons dans le prochain numéro sur les travaux de ces deux commissions.

Exposition de Bordeaux.

L'électricité était largement représentée à l'exposition qui vient d'avoir lieu à Bordeaux; on y remarquait la plupart des systèmes téléphoniques connus, Edison, Grosseley-Ader, Gower, Baillehache, Journeaux, Blacke, Locht-Labye, etc.; la plume Edison; des appareils télégraphiques; des son-

neries de tous les modèles, parmi lesquelles nous signalerons celles de la maison Mildé fils et Cie, dont le timbre n'a pas moins de 15 centimètres de diamètre ; des avertisseurs d'incendie et des instruments divers de la même maison, dont l'exposition était très intéressante ; des systèmes électriques pour la sécurité des chemins de fer exposés par M. Mors, avec signaux pour électro-sémaphores de MM. Tesse, Lartigue et Prud'homme ; des paratonnerres de divers modèles. Signalons enfin, d'après le journal *l'Électricité*, un robinet automatique électrique, un fausset indicateur des fûts pleins, et un tue-mouches électrique exposé par M. Chapuis.

Exposition d'électricité de Munich.

L'exposition d'électricité qui s'est ouverte à Munich, le 15 septembre dernier, avait un but beaucoup moins général que l'exposition de Paris de 1881.

Elle avait été conçue principalement en vue des applications industrielles de l'électricité, telles que l'éclairage et la transmission de la force, et du parti qu'on peut en tirer dans une ville comme Munich, qui possède dans ses environs des chutes d'eau considérables.

Toutefois l'exposition avait été ouverte également à toute les applications de l'électricité, et les appareils télégraphiques, téléphoniques, etc., y figuraient en assez grand nombre. On y remarquait l'appareil original de Sœmmering, dont une copie était à l'exposition de Paris, le premier appareil à induction et les horloges électriques de Steinhall, etc.

Le fait saillant de cette exposition a été le transport de l'énergie par l'électricité effectué à une distance de 60 kilomètres par M. Marcel Deprez. Nous n'étudierons pas en ce moment cette expérience, dont les résultats ont été très discutés au point de vue du rendement, nous réservant d'y revenir plus tard ; nous nous bornerons à reproduire la note qui a été transmise à ce sujet à l'Académie des sciences (séance du 9 octobre 1882) par M. Marcel Deprez.

« Le comité électro-technique de l'exposition d'électricité de Munich m'ayant demandé de répéter sur une ligne télégraphique les expériences de transmission de force que j'avais déjà faites à travers de grandes résistances, j'ai dû faire transporter, à Munich et à Miesbach, les machines à fil fin qui m'avaient servi jusqu'alors dans mes expériences de laboratoire.

« La ligne télégraphique mise à ma disposition par l'administration des lignes télégraphiques allemandes a une longueur de 57 kilomètres. Le fil conducteur est en fer galvanisé de 4 millimètres 5 de diamètre, et comme, par mesure de prudence, je n'ai pas cru devoir employer la terre, j'ai dû demander l'autorisation d'employer un fil de retour identique au premier. La longueur totale de la ligne parcourue par le courant est donc de 114 kilomètres, et sa résistance mesurée de 950 ohms. L'isolement est bon, mais ne diffère en rien de celui qui est universellement employé sur toutes les lignes télégraphiques. Les deux machines, situées l'une à Miesbach, l'autre à Munich, sont absolument identiques et présentent chacune une résistance de 470 ohms.

« La résistance totale du circuit est donc de près de 1.900 ohms.

« Dans la première expérience qui a été faite, on a obtenu immédiatement, à Munich, un travail, mesuré au frein, de 38 kilogrammètres par seconde (soit un 1/2 cheval) avec une vitesse de 1.500 tours par minute. La machine génératrice, située à Miesbach, tournait à la vitesse de 2.200 tours. Les deux machines étant identiques, le rapport du travail récupéré à Munich au travail dépensé à Miesbach était, abstraction faite des résistances passives de toute nature, égal à $\frac{1500}{2200}$, soit plus de 60 p. 100. Les machines employées sont du modèle Gramme dit *type d'atelier*, modifié suivant mes calculs.

« Une forte pluie est tombée pendant presque toute la durée des expériences (*).

« La machine réceptrice sert actuellement à alimenter une

(*) Ces résultats ont paru assez remarquables pour que le Comité électro-technique ait cru devoir les faire connaître, en substance, à l'Académie par un télégramme spécial : ce télégramme a été inséré au *Compte rendu* de la séance précédente.

cascade de 1 mètre de largeur et de 3 mètres de hauteur, au moyen d'une pompe centrifuge.

« Les collecteurs des deux machines présentent des étincelles à peine visibles. L'échauffement des machines est à peine appréciable après deux heures de marche. »

Ajoutons que, d'après des explications complémentaires de M. Marcel Deprez, le rendement de 60 p. 100 indiqué ci-dessus s'applique au rendement électrique et non au rendement industriel, qui, en réalité, n'était que d'environ 30 p. 100.

Méthode thermoscopique pour la détermination de l'ohm.

Par M. G. Lippmann.

On se rappelle que M. Joule (*) a employé une méthode calorimétrique pour la détermination de l'ohm. La méthode que nous allons décrire ne diffère de celle de cet éminent physicien qu'en ce qu'elle n'exige pas que l'on mesure des quantités de chaleur, ni que l'on connaisse l'équivalent mécanique de la chaleur E. Ce dernier point n'est pas sans intérêt ; car dans la méthode calorimétrique de M. Joule, l'approximation finale est limitée par l'incertitude qui existe actuellement sur la valeur exacte du nombre E, c'est-à-dire que l'erreur possible est voisine de $\frac{1}{100}$.

Le fil dont on veut connaître la résistance électrique r est placé au milieu d'un vase disposé comme un calorimètre au milieu d'une enceinte à température constante. On fait passer dans ce fil un courant électrique dont on mesure l'intensité i. On attend que, grâce à la chaleur dégagée par le courant, le vase ait atteint une température stationnaire ; on constate à loisir qu'il en est ainsi, en se servant d'un thermomètre, ou plutôt d'un *thermoscope* sensible, plongé dans le vase. Cela fait, on interrompt le courant, puis on met en mouvement un moteur qui produit un frottement au sein du vase qui contient déjà le fil métallique. La chaleur dégagée par le frottement se substitue à celle qui était tout à l'heure dégagée

(*) *Reports of the Committee*, etc., p. 175-190; Londres, 1873.

par le courant électrique. On fait en sorte que la température stationnaire reprenne la même valeur que précédemment. On a dès lors $ri^2 = T$, T étant le travail dépensé : d'où la valeur de r. Il est à peine nécessaire d'ajouter que l'appareil à frottement doit se trouver établi à poste fixe dans le vase qui le contient, lors même qu'il ne fonctionne pas encore, et qu'il doit être muni d'un des dispositifs connus qui permettent de mesurer T ; il est plus commode aussi, dans la pratique, de commencer par l'expérience de frottement, et de régler ensuite l'intensité i de manière à retrouver la même température stationnaire. Enfin il pourra être avantageux, pour les appareils de grande capacité, de remplacer l'observation de la température stationnaire par celle de la vitesse d'échauffement.

Sous la forme que M. Joule avait été conduit à lui donner en 1867, la méthode calorimétrique du physicien anglais repose également sur la mesure de i et sur la mesure d'un travail mécanique, à savoir du travail que l'on produit lors de la détermination de E ; et, de plus, elle implique deux mesures calorimétriques, destinées à s'éliminer mutuellement du résultat final : à savoir, la mesure calorimétrique qui accompagne la détermination de E et celle qui accompagne le passage du courant électrique ; ces déterminations intermédiaires apportent leurs causes d'erreur et leurs corrections, dues aux imperfections des calorimètres qui servent à les faire. Nous nous en dispensons, en ayant soin de dépenser le travail T et l'énergie électrique ri^2 dans un vase caloriscopique. La quantité de chaleur dégagée dans ce vase devient inutile à connaître, comme l'est le poids de la tare dans une double pesée; et l'avantage obtenu paraît analogue à celui qu'il y aurait à remplacer deux pesées simples successives, faites avec des balances différentes et des poids différents, par une double pesée de Borda. (*Comptes rendus.*)

Nouveau procédé d'isolement des fils électriques à l'aide de l'amiante.

M. H. Geoffroy a soumis à l'Académie des sciences, dans la séance du 14 août dernier, un nouveau procédé d'isolement

des fils électriques à l'aide de l'amiante. Voici un extrait de sa communication :

L'attention publique ayant été vivement surexcitée par plusieurs accidents provenant de l'imparfait isolement des fils électriques, je prends la liberté de soumettre à l'Académie un procédé nouveau qui me paraît de nature à supprimer radicalement toutes les chances d'incendie, même lorsque les fils se trouvent en contact avec des matières combustibles.

Ce procédé consiste à recouvrir les fils conducteurs d'un enroulement d'amiante et à les placer ensuite dans un tube en plomb, comme on le fait ordinairement.

Des expériences exécutées à Paris par M. Henri Lippmann, ingénieur de *The Faure electric accumulator Company*, et que je suis en mesure de répéter, il résulte qu'un fil peut être entièrement volatilisé sans que l'étincelle se communique au dehors. Quoique l'expérience ait été exécutée avec un courant puissant, sur une courte longueur où toute la chaleur se trouvait, pour ainsi dire, condensée, le plomb n'a manifesté aucun commencement de fusion. La volatilisation, qu'il serait très intéressant de répéter dans les cours, est l'affaire d'un dixième de seconde. Le plomb ne peut pas fondre, parce que, le cuivre étant brûlé, le courant se trouve interrompu.

Une autre expérience, facile à faire, prouve que l'isolement électrique est très satisfaisant et qu'aucune portion du courant ne se dérive par l'intermédiaire de l'amiante.

Ajoutons que dans une lettre adressée à M. le directeur de la *Lumière électrique*, M. Jarriant jeune a réclamé la priorité du procédé, qui serait sa propriété en vertu d'un brevet pris le 7 novembre 1881.

Sur la variation du frottement produite par la polarisation voltaïque.

Par M. KROUCHKOLL.

L'électromotographe de M. Edison a attiré l'attention des physiciens sur un fait nouveau : celui de la variation que subit le frottement d'une surface métallique contre un élec-



trolyte lorsque, entre les deux corps frottants, on fait passer un courant. M. Koch a publié, en 1879, un travail où il montre que la polarisation par l'oxygène altère la surface frottante de platine ou de palladium, de manière à augmenter le frottement. La polarisation par l'hydrogène ne produirait, d'après cet auteur, aucun effet.

J'ai repris ces expériences en me plaçant dans des conditions différentes, et je suis parvenu à faire voir que la polarisation par l'oxygène augmente le frottement, tandis que la polarisation par l'hydrogène le diminue.

L'appareil dont je me sers se compose d'un cristallisoir au fond duquel est fixée une glace polie. Il est placé sur un plateau horizontal, tournant autour de son axe vertical sous l'action d'une petite machine Gramme, animée par deux bunsens. Un frotteur, formé d'une série de petit balais de platine, fixés dans de l'ébonite, frotte contre la glace pendant la rotation du plateau, et tend à entraîner l'aiguille d'une balance sensible à laquelle il est attaché. Le cristallisoir contient une certaine quantité d'eau acidulée au cinquième (par l'acide sulfurique) qui mouille les balais; ceux-ci sont mis en communication avec le pôle d'un élément de pile. Afin de faire porter toute la polarisation sur les balais du frotteur, je prends comme autre électrode une tige de cuivre plongeant dans du sulfate de cuivre : une telle électrode, d'après les expériences de M. Lippmann, est impolarisable. (Le sulfate de cuivre est mis dans un vase poreux, contenu lui-même dans un second vase poreux renfermant de l'eau et baignant dans le liquide du cristallisoir.) On met en marche l'appareil et l'on équilibre la balance. Il est alors facile de constater par l'inclinaison de celle-ci que la polarisation par l'oxygène augmente le frottement et que la polarisation par l'hydrogène le fait diminuer.

Il suffit d'une force électromotrice d'un demi-daniell pour mettre le phénomène en évidence. La diminution du frottement par la polarisation négative et son augmentation par la polarisation positive croissent avec la force électromotrice qui sert à cette polarisation.

(*Comptes rendus.*)

Sur l'amplitude des vibrations téléphoniques.

Note de M. G. SALET.

Tout le monde sait qu'on peut entendre, à travers une porte de sapin de peu d'épaisseur, les paroles prononcées dans une pièce d'ailleurs parfaitement close. Dans ce cas, les vibrations sonores transmises par l'air ébranlent synchroniquement la paroi de bois, et celle-ci transmet à son tour son mouvement à l'air extérieur comme pourrait le faire un piston mobile.

Cette expérience familière aurait dû, semble-t-il, frapper les physiciens, car elle donne une preuve de l'exquise sensibilité de l'oreille. Les vibrations de la paroi sont en effet fort petites, à peine plus grandes que celles de la membrane d'un téléphone récepteur en action; or, ces dernières sont si faibles qu'on a quelquefois révoqué en doute leur existence. Elles existent cependant, et je vais donner une idée de leur amplitude.

J'ai fixé sur le diaphragme de fer d'un téléphone à main du système Bell un petit disque de verre pesant $0^{gr},45$; en face de celui-ci j'en ai disposé un second fournissant avec le premier les anneaux de Newton. L'appareil, comme on le voit, ressemble à celui que M. Fizeau a imaginé pour étudier les dilatations. Lorsqu'on parle à 5 ou 6 mètres du téléphone, ou lorsqu'on y lance un courant téléphonique produit à l'aide d'un bon transmetteur (celui de Bottscher, par exemple, qui ne nécessite l'emploi d'aucune pile), on voit les anneaux perdre de leur netteté et disparaître si l'on force un peu la voix. Ils vibrent en effet eux-mêmes synchroniquement avec le diaphragme de fer, et rien n'est plus simple, d'après l'amplitude de leurs oscillations, que de calculer celle des vibrations de la membrane.

Il est certain cependant que la surcharge de $0^{gr},5$ imposée à celle-ci doit en rendre les mouvements un peu moins étendus : les résultats obtenus par la méthode actuelle pèchent donc vraisemblablement par défaut plutôt que par excès.

Pour évaluer le déplacement des anneaux, on dispose, devant le téléphone récepteur auquel on fait émettre un son continu, un disque tournant percé de fentes, comme celui du

phénakisticope. On constate que, pour une certaine vitesse de rotation, les anneaux reparaissent avec netteté. Si l'on souffle alors au travers du disque, de façon à le faire agir comme une sirène, on vérifie que le son produit est à l'unisson avec celui transmis par le téléphone. Baisse-t-il ou monte-t-il légèrement, aussitôt les anneaux oscillent, d'abord lentement, puis avec une telle rapidité qu'ils redeviennent invisibles. Pendant qu'ils oscillent, on peut évaluer facilement leur déplacement : dans une expérience faite en émettant dans le transmetteur le *la* du diapason sur la voyelle *ou*, avec une intensité modérée, ce déplacement a été à peu près égal à la distance de deux anneaux consécutifs. L'amplitude des vibrations de la plaque réceptrice était donc de 2 à 3 *dix-millièmes de millimètre*.

Si on lance dans le téléphone des courants d'intensités diverses, mais fort petites, et dont aucun, par exemple, ne produise le déplacement des anneaux au delà de la moitié de la distance qui les sépare, on pourra, en considérant un point de la lame de verre, conclure de son éclat à l'intensité du courant. Ce singulier procédé galvanométrique pourra sans doute être utilisé dans un récepteur télectroscopique.

(*Comptes rendus.*)

Sur quelques théorèmes d'électricité démontrés d'une manière inexacte dans des ouvrages didactiques.

Note de M. Yves Machai.

J'ai remarqué dans certains Ouvrages scientifiques, et notamment dans les précieux Traités classiques sur l'électricité de Maxwell et de MM. Mascart et Joubert, des erreurs qui n'ont pas, à ma connaissance, été relevées jusqu'ici. Ces erreurs ayant été reproduites de confiance plusieurs fois, grâce à l'autorité scientifique de leurs auteurs, j'ai cru devoir les signaler à l'attention de l'Académie. Je me bornerai d'ailleurs à quelques citations.

I. Théorème donné par M. Mascart (*Leçons sur l'électricité et le magnétisme*, p. 25). — *Si* V *désigne* le *potentiel en un point*

d'un champ électrique où la densité est nulle, le plan des xy *étant parallèle au plan tangent à la surface de niveau qui passe par le point considéré, on a en ce point*

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} = 0, \quad \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} = 0, \quad \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = 0.$$

L'erreur ici porte, non seulement sur la démonstration, mais encore sur le résultat, qui doit être rectifié ainsi :

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} = \frac{F}{R_x},$$

$$\frac{\partial^2 U}{\partial y^2} = \frac{F}{R_y},$$

$$\frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = -F\left(\frac{1}{R_x} + \frac{1}{R_y}\right) = -F\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right).$$

F désigne la force électrique qui s'exerce au point considéré, R_x et R_y les rayons de courbure des sections faites en ce point dans la surface de niveau par les plans parallèles aux plans des xz et des yz, et R_1 et R_2 les rayons de courbure principaux.

II. Théorèmes donnés par Maxwell (*Treatise on Electricity and Magnetism*, t. I, p. 160) et par M. Mascart (p. 45). — *En un point d'une ligne d'équilibre, si la surface de niveau se compose de deux nappes, celles-ci se coupent à angle droit. — Si la surface de niveau se compose de* n *nappes, celles-ci se coupent successivement sous des angles égaux à* $\frac{\pi}{n}$.

Un examen attentif des démonstrations données par les auteurs en question, pour ces deux théorèmes, montre qu'elles sont entièrement inexactes. Je donne ci-dessous une démonstration du dernier théorème, qui comprend le précédent comme cas particulier.

Prenons comme origine un point O de la ligne d'équilibre, comme axe des z la tangente à cette ligne, et menons dans le plan des xy un rayon vecteur OO' de longueur ρ, faisant avec les axes Ox, Oy les angles θ et $\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right)$. Le potentiel en O', développé suivant les puissances croissantes de ρ, peut s'écrire

$$V = V_0 + H_1 + H_2 + H_3 + \ldots + H_n + \ldots,$$

en posant symboliquement

$$H_n = \frac{\rho^n}{1.2\ldots n}\left[\left(\frac{\partial V}{\partial x}\right)_0 \cos\theta + \left(\frac{\partial V}{\partial y}\right)_0 \sin\theta\right]^n,$$

avec la condition que, dans le développement du second membre, une puissance quelconque telle que $\left(\frac{\partial V}{\partial x}\right)_0^\lambda \left(\frac{\partial V}{\partial y}\right)_0^\mu$ soit remplacée par la dérivée correspondante $\left(\frac{\partial^n V}{\partial x^\lambda \partial y^\mu}\right)_0$.

Si, en tous les points de la ligne d'équilibre, on a identiquement

$$H_1 = 0, \quad H_2 = 0, \quad \ldots, \quad H_{n-1} = 0,$$

c'est-à-dire si toutes les dérivées de V d'ordre inférieur à n sont nulles, cette ligne est l'intersection de n nappes de la surface de niveau ; et, pour que le rayon OO′ soit tangent à l'une de ces nappes, il faut que l'on ait $H^n = 0$, ou

$$\text{(T)} \qquad \left[\left(\frac{\partial V}{\partial x}\right)_0 \cos\theta + \left(\frac{\partial V}{\partial y}\right)_0 \sin\theta\right]^n = 0.$$

Or, de l'équation de Laplace $\Delta V = 0$, on tire, par différentiation,

$$\frac{\partial n V}{\partial x^{\lambda+2} \partial y^\mu} + \frac{\partial n V}{\partial x^\lambda \partial y^{\mu+2}} + \frac{\partial^n V}{\partial x^\lambda \partial y^\mu \partial z^2} = 0.$$

D'ailleurs le terme $\frac{\partial^n V}{\partial x^\lambda \partial y^\mu \partial z^2}$ est nul en O, puisqu'il est la dérivée par rapport à z de $\frac{\partial^{n-1} V}{\partial x^\lambda \partial y^\mu \partial z}$, qui est nulle, par hypothèse, non seulement à l'origine, mais encore en un autre point infiniment voisin pris sur la ligne d'équilibre, c'est-à-dire dans la direction de l'axe des z. On a donc, à l'origine,

$$\left(\frac{\partial n V}{\partial x^{\lambda+2} \partial y^\mu}\right)_0 + \left(\frac{\partial n V}{\partial x^\lambda \partial y^{\mu+2}}\right)_0 = 0.$$

Il résulte de là, pour diverses valeurs de λ et de μ,

$$\left(\frac{\partial^n V}{\partial x^n}\right)_0 = -\left(\frac{\partial^n V}{\partial x^{n-2} \partial y^2}\right)_0 = \left(\frac{\partial^n V}{\partial x^{n-4} \partial y^4}\right)_0 = -\left(\frac{\partial^n V}{\partial x^{n-6} \partial y^6}\right)_0 = \ldots,$$

$$\left(\frac{\partial^n V}{\partial x^{n-1} \partial y}\right)_0 = -\left(\frac{\partial^n V}{\partial x^{n-3} \partial y^3}\right)_0 = \left(\frac{\partial^n V}{\partial x^{n-5} \partial y^5}\right)_0 = -\left(\frac{\partial^n V}{\partial x^{n-7} \partial y^7}\right)_0 = \ldots;$$

l'équation (T) peut, par conséquent, s'écrire

$$\left[\left(\frac{\partial V}{\partial x}\right)_0 \cos\theta + \left(\frac{\partial V}{\partial y}\right)_0 \sin\theta\right]^n = \left(\frac{\partial^n V}{\partial x^n}\right)_0 \cos n\theta + \left(\frac{\partial^n V}{\partial x^{n-1}\partial y}\right)_0 \sin n\theta = 0;$$

si θ_0 est une solution de cette équation, les n autres sont de la forme

$$\theta = \theta_0 + \frac{k\pi}{n},$$

ce qui démontre bien que les n nappes se coupent successivement sous des angles égaux à $\frac{\pi}{n}$.

III. Théorème d'Earnshaw (Maxwell, p. 161; Mascart, p. 56).— *Un corps électrisé ne peut pas être en équilibre stable dans un champ électrique.*

Premièrement, cet énoncé doit être rectifié comme il suit : *Deux systèmes électrisés étant seuls en présence ne peuvent être en équilibre stable, à moins que l'un d'eux ne soit entièrement compris dans un espace soustrait à l'influence de l'autre.*

Deuxièmement, la démonstration de Maxwell est inachevée. Celle de M. Mascart est plus complète, quoiqu'elle ne s'applique qu'au cas particulier où le corps mobile électrisé ne peut avoir qu'un mouvement de translation sans rotation ; mais elle n'est pas exacte.

Je pourrais encore faire quelques citations semblables, mais je crois avoir montré suffisamment, par les exemples qui précèdent, quelle attention on doit apporter dans la lecture d'ouvrages dus même à des savants éminents.

(*Comptes rendus.*)

La force coercitive de l'acier, rendue permanente par la compression.

Note de M. L. Clémandot.

En mars dernier, j'ai eu l'honneur de communiquer à l'Académie une Note dans laquelle j'exposais les propriétés acquises par l'acier soumis à une forte pression et refroidi sous cette

pression. J'ai dit que, entre autres propriétés acquises, ayant une complète similitude avec celles que donne la trempe par les bains, se trouvait la force *coercitive*, cette propriété que peut posséder l'acier de devenir *aimant*, c'est-à-dire d'acquérir le magnétisme et de le conserver.

J'ai poursuivi mes essais et j'ai pu constater des résultats nouveaux et intéressants, que je m'empresse de communiquer à l'Académie.

La trempe ordinaire consiste, on le sait, à chauffer l'acier au rouge cerise, à le refroidir brusquement en le trempant dans un bain, eau, huile ou tout autre liquide: le métal est durci, *trempé*, il a acquis la force coercitive. Mais qu'arrive-t-il si l'on réchauffe de nouveau cet acier, si on le recuit? On dit que le métal se *détrempe;* sa force coercitive disparaît; il n'est plus aimantescible. Que se passera-t-il au contraire pour un acier trempé par compression, c'est-à-dire refroidi sous pression, après le refroidissement brusque obtenu en partie par la compression? La propriété coercitive *aura été maintenue*, malgré le réchauffage, le forgeage même de cet acier. Autrement dit, au lieu d'être éphémère, instable, comme l'est la propriété coercitive due à la trempe obtenue par les bains, celle qui est imprimée à l'acier par sa compression sera *permanente*, *indélébile*, quelles que soient les opérations successives auxquelles il sera soumis. C'est, pour moi, à l'homogénéité la plus absolue que donnent la compression et le refroidissement sous pression qu'il faut attribuer ce résultat.

Il y a là, je crois, un fait intéressant au point de vue scientifique et aussi au point de vue métallurgique. J'appuie maintenant sur des faits l'exposé que je viens de présenter.

J'ai pris une et plusieurs lames d'un faisceau d'une machine magnéto-électrique; je les ai brisées; je les ai forgées, pour en faire un paquet que j'ai soudé à la forge pour en former un barreau; j'ai *comprimé* ce barreau, j'ai reconstitué mes lames, je les ai *réaimantées*, et, comme celles que j'avais détruites pour leur faire subir l'opération que je viens de décrire, j'ai retrouvé la même force d'aimantation, 11 degrés mesurés au galvanomètre. J'ai fait la même opération sur un grand nombre de téléphones : non seulement la force magnétique s'est conservée, mais encore elle s'est *accrue* par les

diverses transformations et opérations que j'ait fait subir à l'acier.

Dans ces conditions, la compression et le refroidissement sous pression viennent donc constituer un nouveau mode de traitement métallurgique. J'ajouterai que le métal ainsi traité présente dans la pratique de grands avantages : tandis que l'acier trempé par les bains est durci, intravaillable et souvent déformé, l'acier soumis à la compression et retravaillé ensuite est *doux ;* il peut se limer, se percer, etc., ce qui est un avantage inappréciable pour les constructeurs d'appareils à aimants, machines magnéto-électriques, téléphones, etc., qui perdent souvent un temps précieux en travaillant sur des aimants qui se brisent au dernier moment.

Tels sont les faits nouveaux que j'ai l'honneur de soumettre à l'Académie. J'espère qu'ils lui paraîtront dignes de son approbation, qui m'encouragera dans les travaux que j'ai entrepris sur la compression des métaux.

(*Comptes rendus.*)

Bibliographie.

Manuel de télégraphie pratique, de M. Culley, traduit de l'anglais, sur la 7e édition, par MM. Berger, directeur-ingénieur des lignes télégraphiques, et Bardonnaut, directeur des postes et télégraphes. (Gauthier-Villars, éditeur.)

La traduction du *Manuel de télégraphie pratique*, de M. Culley, qui vient de paraître, sera accueillie avec empressement par toutes les personnes qui s'occupent d'électricité, et en particulier par les télégraphistes.

Cet ouvrage contient une étude complète et détaillée de tous les sujets qui se rapportent à la transmission des signaux : sources électriques, lois des courants, rôle de la terre, magnétisme, induction, essais électriques, construction des lignes aériennes, souterraines et sous marines, appareils à signaux, etc., etc.

MM. Berger et Bardonnaut ont complété l'ouvrage original

par la description de plusieurs appareils qui, n'étant pas en usage en Angleterre, avaient été laissés de côté par M. Culley, appareils à cadran, Hughes, Meyer, Baudot. Ils ont emprunté ces descriptions à diverses sources; peut-être eussent-ils mieux fait de les refaire pour les mettre un peu plus en harmonie avec le cadre général de l'ouvrage.

Le livre, qui comprend 658 pages, est complété par un chapitre sur les inventions nouvelles qui se rapportent à la transmission des signaux: téléphonie, télégraphie optique, et par un certain nombre de tables pratiques qui peuvent servir dans un grand nombre de cas.

M. Culley a évité, surtout dans la première partie de son manuel, l'intervention de tout calcul algébrique, même le plus simple; il en résulte quelques longueurs lorsqu'il veut expliquer, par des exemples numériques, certains phénomènes élémentaires tels que l'influence de la position d'une dérivation sur une ligne, ou celle de la division d'une pile en tension ou en série.

Le chapitre consacré à l'étude de la télégraphie sous-marine est particulièrement complet et intéressant; il contient les formules relatives à la capacité des câbles, les conditions exigées pour la réception des conducteurs et des enveloppes isolantes, une étude des phénomènes de charge et de décharge, l'exposé des méthodes employées pour les essais du câble atlantique français de 1869, une étude sur le mode et la vitesse de transmission à travers les câbles à l'aide des divers systèmes d'appareils, etc., etc.

Unités et constantes physiques, par J.-D. EVERETT, professeur de philosophie naturelle à Queen's College, traduit de l'anglais par M. Jules Raynaud, avec le concours de MM. Thévenin, de la Touanne et Massin. (Gauthier-Villars, éditeur.)

On sait que les travaux du Comité de l'Association scientifique chargé de faire des expériences pour la détermination de l'unité absolue de résistance, qui a reçu le nom d'*Ohm*, ont conduit à l'adoption, pour les autres grandeurs électriques, d'unités absolues, dont les noms ont été fixés plus tard par le

Congrès international de Paris de 1881 : *Coulomb* pour la quantité, *Ampère* pour l'intensité, *Volt* pour la force électromotrice et *Farad* pour la capacité électro-statique.

Un comité spécial composé de MM. W. Thomson, Forster, Maxwell, Stoney, Fleeming Jenkin, Siemens, Bramwell et Everett (rapporteur) a été chargé par la Société de physique de Londres de présenter un système général d'unités mécaniques, fondé sur les principes qui avaient servi de point de départ aux unités électriques.

Ce Comité a adopté pour unité fondamentale de temps la seconde, pour unité de masse celle du gramme ou du centimètre cube d'eau distillée à la température du maximum de densité, et pour unité de longueur le centimètre. Le centimètre a été préféré au mètre comme étant directement en rapport avec l'unité de volume qui sert de base à l'unité de masse.

Il en résulte que la densité d'un corps est précisément le poids du centimètre cube ou de l'unité de volume de ce corps.

Les unités qui dérivent de ces trois unités fondamentales sont appelées unités C. G. S.

L'unité de vitesse est celle d'un corps animé d'un mouvement uniforme qui parcourt un centimètre par seconde.

L'accélération est l'accroissement de vitesse au bout de l'unité de temps lorsque le mouvement est uniforme; l'unité d'accélération est celle qui correspond à un accroissement de l'unité de vitesse par seconde. L'accélération due à la pesanteur varie un peu d'un point à un autre de la terre; à Paris, sa valeur est 980,94 unités.

La force est proportionnelle au produit de l'accélération qu'elle imprime à un corps par la masse de ce corps. L'unité absolue est la force qui communique à l'unité de masse l'unité d'accélération. Le Comité anglais a proposé de donner à cette unité le nom de *dyne* (δυναμις). La force désignée sous le nom de gramme imprime à une masse égale à l'unité, ou pesant un gramme, une accélération de 980,94 centimètres par seconde, et est représentée par ce nombre en dynes; en d'autres termes 1 dyne $= \frac{1}{980,94}$ grammes, soit environ $\frac{1}{1000}$ de gramme.

Le travail est égal au produit de la force par l'espace parcouru; dans le système C. G. S. l'unité est le travail accompli par une force égale à 1 dyne quand l'espace parcouru est 1 centimètre. On a proposé d'appeler cette unité, qui représente aussi l'unité d'énergie, *erg* (εργον).

Un gramme-centimètre est égal à 980,94 ergs; un kilogramme-mètre est égal à 980,940,000 ergs. Par conséquent un erg est égal à 0,00102 gramme-centimètre ou à 0,0000000102 de kilogramme-mètre.

Les unités mécaniques C. G. S. sont trop petites pour la pratique ordinaire, mais on peut adopter pour la dyne et l'erg les préfixes kilo, hecto, etc., employés avec les unités métriques, ou les préfixes méga et micro qui représentent des multiples égaux à un million ou à un millionnième.

Le livre de M. Everett, traduit par MM. Raynaud, Thévenin, de la Touane et Massin, contient en outre d'un exposé complet du système des unités C. G. S. et de son application aux diverses branches de la physique, chaleur, hydrostatique, acoustique, magnétisme et électricité, un grand nombre de tables et d'exemples.

Bulletin de la Compagnie internationale des téléphones.

La Compagnie internationale des téléphones fait paraître sous ce titre, depuis le 9 octobre, un bulletin hebdomadaire consacré surtout à l'étude des questions financières qui se rapportent à l'électricité et dans lequel sont passées en revue les diverses compagnies qui exploitent, tant à Paris qu'à l'étranger, les brevets pris pour son application à la télégraphie et l'éclairage, etc.

Le premier numéro contient un tableau donnant la situation des divers réseaux téléphoniques, duquel il résulte qu'au mois de septembre 1882, le nombre des abonnés aux communications téléphoniques n'était pas moindre de 57,890, savoir:

Allemagne.	2.322	Indes anglaises.	213
Autriche-Hongrie. . . .	970	Italie.	2.902
Belgique.	2.156	Mexique.	300
Danemarck.	398	Pays-Bas.	151
Égypte.	183	Russie.	238
États-Unis.	37.187	Suède.	672
Grande-Bretagne. . . .	4.946	Suisse	621
France.	3.641		

Nécrologie.

LE GÉNÉRAL CH. DE LUEDERS.

M. de Lueders, directeur général des télégraphes de l'empire de Russie, conseiller privé, est mort le 15 août dernier à Salzbourg, où il était allé chercher un soulagement à de longues et cruelles souffrances.

M. de Lueders, appelé en 1858 au poste de directeur adjoint des télégraphes russes, avait été nommé en 1866 directeur général et a occupé jusqu'à sa mort cette haute situation.

C'est à lui que revient l'idée de la grande ligne aérienne de Varsovie à Djoulfa, destinée à faire concurrence aux lignes sous-marines immergées par les Anglais à travers la Méditerranée, la mer Rouge, le golfe Arabique et l'océan Indien.

On lui doit l'établissement de plusieurs grandes lignes sous-marines, telles que celle qui relie la Russie aux États du Nord à travers la Baltique (1868), celle d'Odessa à Constantinople à travers la mer Noire (1874), une ligne à travers la mer Caspienne, etc. Sous son administration, il a été installé environ 980 bureaux et construit 54,500 kilomètres de lignes, supportant environ 103,000 kilomètres de fils conducteurs.

La grande personnalité du général de Lueders s'est surtout fait apprécier à la conférence internationale de 1875, qu'il a eu l'honneur de présider, et au succès de laquelle il a puissamment contribué par son action prudente et conciliatrice et par la haute estime qu'il avait su inspirer à tous.

Le Gérant : Dunod.— Imprimerie C. Marpon et E. Flammarion, 26, rue Racine

ANNALES TÉLÉGRAPHIQUES


Année 1882 — Novembre-Décembre

ÉTUDE SUR LA TÉLÉPHONIE.

Suite (*).

Système Sieur et Bassompierre.

Deux charbons plats A et B (*fig.* 13) sont fixés contre le diaphragme D, qui est une planchette de sapin. En travers et sur les charbons A et B s'applique un autre charbon plat CC qui est maintenu contre les deux autres par une bague ou ressort RR en caoutchouc ou en étoffe. Un guide G, fixé sur le diaphragme et passant par un trou pratiqué dans le milieu du charbon C, empêche celui-ci de glisser et le maintient dans sa position par rapport aux charbons A et B.

Fig. 13.

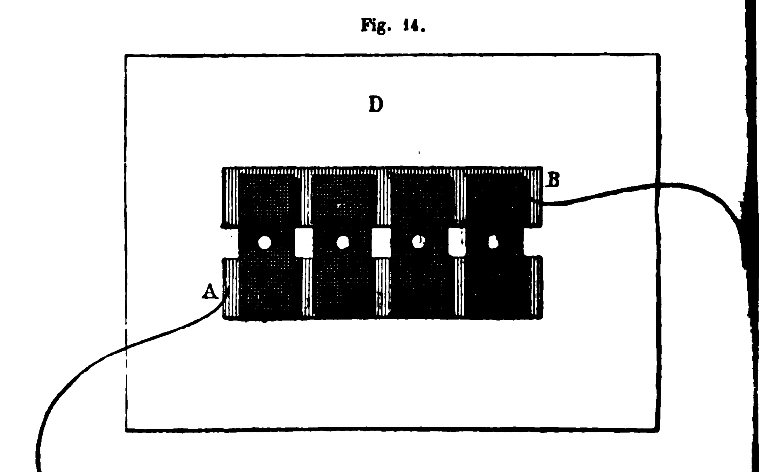
La figure 14 montre comment on peut multiplier le nombre des contacts de ce transmetteur en plaçant sur les charbons A et B plusieurs charbons C, C′, C″, C‴.


(*) Voir le numéro de mai-juin 1882.



Le courant de la pile, arrivant en A, sort en B après avoir traversé simultanément les charbons C, C', C'' et C'''.

Fig. 14.



Son circuit est fermé par le fil primaire d'une bobine d'induction dont le fil secondaire est en relation avec la ligne et les récepteurs comme dans les systèmes déjà décrits.

Les variations d'intensité du courant dans le fil primaire de la bobine d'induction sont produites par les variations de contact des charbons C, C', C'' et C''' sur les charbons A et B, qui résultent des vibrations du diaphragme en raison de l'inertie des charbons, à laquelle s'ajoute l'effet de l'élasticité des ressorts-bagues. La disposition de ce transmetteur permet de s'en servir en le plaçant dans une position quelconque, même en le tenant dans la main en marchant et en le balançant, ce qui offrirait un certain avantage pour la téléphonie militaire.

Cet appareil possède une très grande puissance de transmission qui le rend propre au service à longue distance. Il a été essayé avec succès entre Versailles et le

Mans (190 kilomètres), malgré l'induction considérable produite par les transmissions télégraphiques et au moment de la journée où celles-ci sont le plus nombreuses.

Les auteurs de ce microphone ont construit un téléphone récepteur représenté en coupe (*fig.* 15) et ouvert en plan (*fig.* 16).

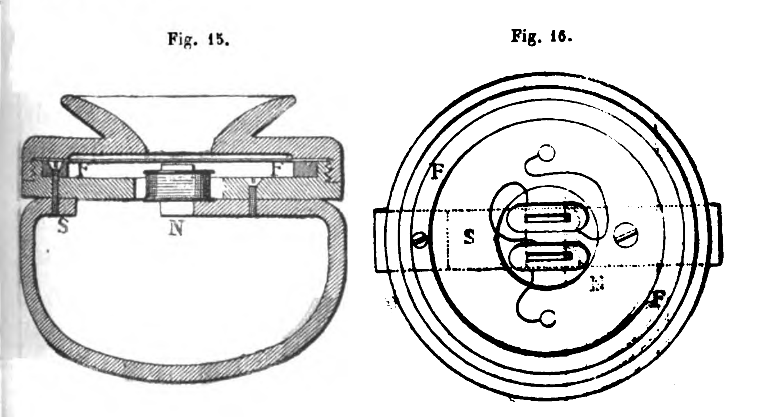


Fig. 15. Fig. 16.

L'aimant NS, en forme de poignée, porte sur son pôle nord deux noyaux en fer doux munis d'une bobine chacun.

Le pôle sud de l'aimant est relié par une vis en fer doux à une couronne F aussi en fer doux sur laquelle repose, par sa circonférence, la plaque de tôle qui forme le diaphragme et dont le centre se trouve en face des noyaux qui terminent le pôle nord de l'aimant. Par sa position, le diaphragme est aimanté par influence, sud à son centre et nord à sa circonférence.

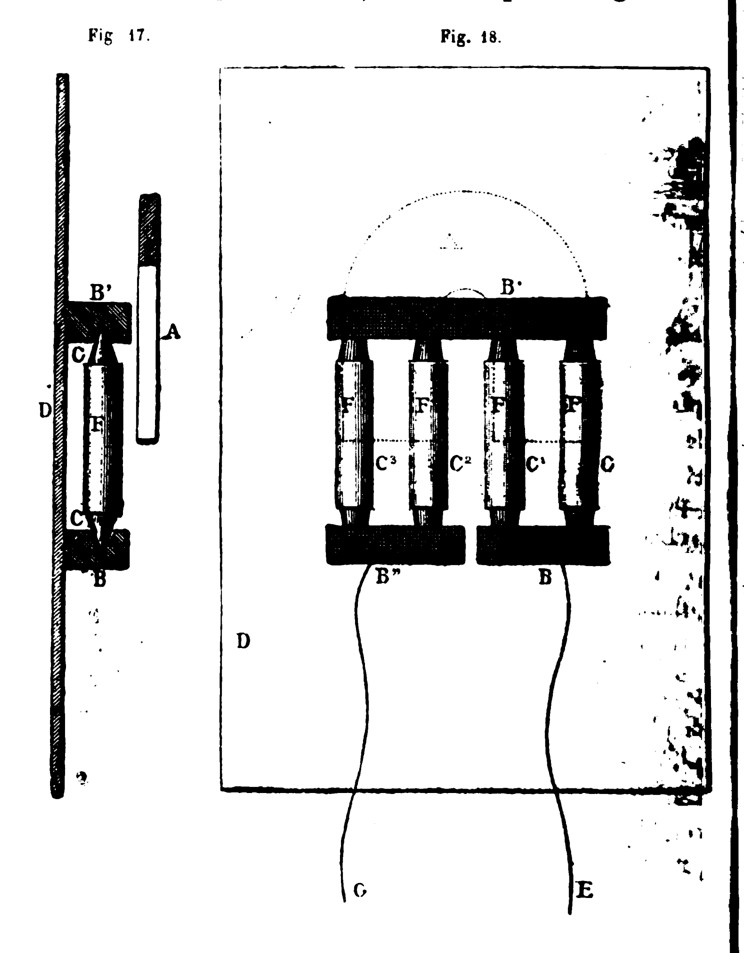
Le courant entre dans les bobines de façon à produire un pôle de même nom à l'extrémité des noyaux.

Système Paul Bert et d'Arsonval.

MM. Paul Bert et d'Arsonval ont imaginé, le premier un transmetteur, le second un récepteur qui forment un système complet donnant dans la pratique de remarquables résultats.

La disposition des charbons sur le diaphragme du transmetteur (*fig.* 17 et 18) a beaucoup d'analogie avec

Fig 17. Fig. 18.



celle du microphone de Hughes ; elle n'en diffère que par le nombre des charbons et le mode de réglage qui permet à cet appareil de transmettre la parole articulée.

Dans des trous coniques, pratiqués dans les blocs de charbon B, B' et B'', sont placés les crayons de charbons C, C^1, C^2 et C^3 recouverts d'une enveloppe de fer-blanc F et derrière lesquels se trouve un aimant A que l'on voit en coupe (*fig.* 17) et pointillé (*fig.* 18).

Cet aimant, que l'on peut régler facilement en le rapprochant ou en l'éloignant des charbons au moyen d'une vis, attire l'enveloppe en tôle des charbons mobiles de façon que, sous l'influence des vibrations du diaphragme D, leurs contacts sur les blocs B, B' et B'' se modifient sans rupture et produisent les variations de résistance et d'intensité qui ont été déjà expliquées.

On voit, en outre (*fig.* 18), que les cylindres de charbon mobiles sont disposés, deux en tension et deux en quantité ; le courant entrant par E va dans le bloc B, passe simultanément dans les cylindres C et C^1, dans le bloc B', puis simultanément dans les cylindres C^2 et C^3, et sort par le bloc B'' pour compléter son circuit à travers le fil primaire d'une bobine d'induction dont le fil secondaire est en relation avec les récepteurs et la ligne, comme dans tous les autres systèmes déjà décrits.

Cette disposition des charbons attirés par un aimant permet, comme dans le système Sieur et Bassompierre, de placer le transmetteur dans une position quelconque pour s'en servir. Les constructeurs, MM. de Branville et Ladislas Lenczewski, ont ingénieusement tiré parti de cette particularité qui leur a permis de réaliser un appareil portatif pour poste militaire et pour poste central

téléphonique sur lequel nous aurons d'ailleurs occasion de revenir en traitant des installations.

Le téléphone récepteur de M. d'Arsonval, que l'on voit en coupe *fig.* 19 et ouvert en plan (*fig.* 20), possède une disposition tout à fait originale.

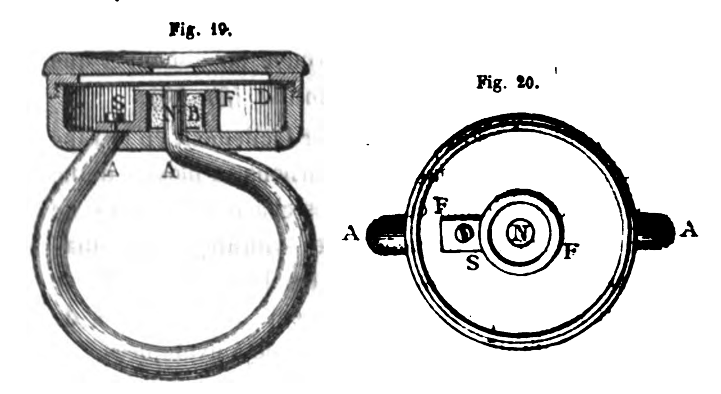


Fig. 19. Fig. 20.

L'aimant AA, en forme de poignée, a ses deux pôles concentriques de façon qu'ils agissent l'un et l'autre sur le diaphragme D en tôle mince, et qu'ils soient influencés tous les deux par les courants électriques circulant dans une seule bobine.

Pour obtenir ce résultat, un tube de fer doux SF, terminé par une plaque, est fixé au moyen d'une vis en fer sur le pôle sud de l'aimant. Ce tube enveloppe le pôle nord qui sert de noyau à la bobine B, dont les spires extérieures viennent presque au contact de la paroi intérieure du tube qui forme le pôle sud de l'aimant.

La bobine est donc entièrement noyée dans le champ magnétique, et les courants qui circulent dans cette bobine agissent forcément sur les deux pôles pour les renforcer ou les affaiblir simultanément.

Les expériences faites avec ce téléphone ont été très sa-

tisfaisantes et prouvent que cet appareil est certainement l'un des meilleurs qui aient été réalisés jusqu'à présent.

Citons une particularité dans la construction.

L'acier employé par M. Ladislas Lenczewski pour la fabrication des aimants a été au préalable étiré sous une énorme pression.

Cette préparation particulière le rend propre à être aimanté sans qu'il soit besoin de le tremper. La trempe n'augmenterait pas d'ailleurs sa force coercitive.

Les aimants obtenus par ce procédé ont l'avantage de ne pas être déformés ni fendus comme cela arrive souvent pour les aimants trempés. Ils rendent plus facile le dernier coup de main d'œuvre puisqu'ils peuvent se limer et, par conséquent, se polir plus facilement.

Fig. 21.

Système Dunaud.

Le transmetteur microphonique de M. Dunaud est, croyons-nous, l'un des plus simples de ceux qui aient été réalisés jusqu'à ce jour.

Il se compose de deux plaques circulaires de tôle, D et D' (*fig.* 21), fixées parallèlement sur une bague en bois B.

Entre ces deux plaques, est tendu un fil de laiton F que l'on peut tordre au moyen d'une tige à tête T.

Ce fil de laiton porte vers son milieu un petit cylindre de charbon dont les deux extrémités touchent les deux plaques de tôle vers leur centre et ferme, par ces contacts, le circuit

d'une pile à travers le fil primaire d'une bobine d'induction dont le fil secondaire est en communication avec les récepteurs et la ligne.

Pour récepteur, M. Dunaud se sert du téléphone Bell ordinaire ou du condensateur.

On sait que M. Dunaud est un de ceux qui, les premiers, sont parvenus à faire reproduire la parole articulée par le condensateur.

THÉORIE DU CONDENSATEUR PARLANT.

Il ne sera peut-être pas sans intérêt, puisque nous sommes amenés sur ce sujet, de donner ici une théorie expliquant le phénomène du condensateur parlant.

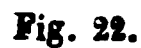
Pour cela, nous procéderons par analogie en examinant d'abord ce qui se passe dans les téléphones électro-magnétiques.

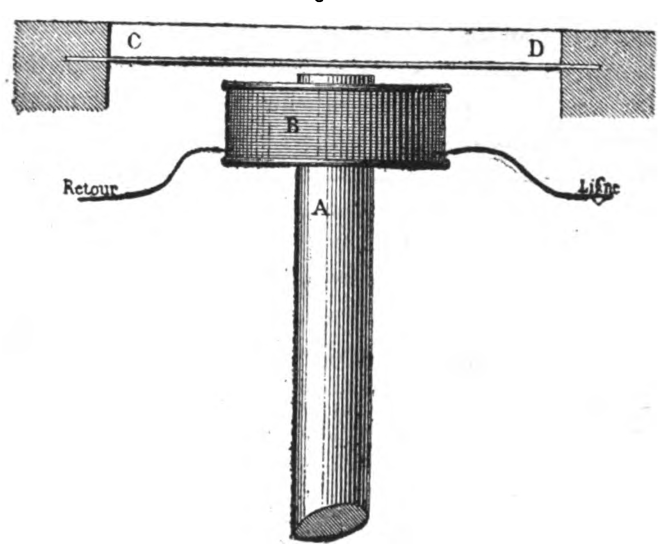
On sait que les éléments constitutifs d'un téléphone Bell (*fig.* 22) sont : 1° une plaque ou diaphragme circulaire CD, en tôle, fixé rigidement par sa circonférence ; 2° un aimant A dont l'un des pôles, muni d'une bobine B, est fixé tout près du diaphragme et au centre de celui-ci.

Sous l'influence du magnétisme permanent de l'aimant A, le diaphragme CD, à l'état normal, est toujours attiré et présente une légère courbure convexe du côté de l'aimant.

Quand on parle sur le diaphragme CD, il vibre sous l'influence de la parole ; c'est-à-dire qu'il est soumis à une série de flexions et de redressements alternatifs qui le rapprochent ou l'éloignent de l'aimant. Et, comme ce diaphragme est en fer, ces rapprochements et ces éloignements modifient l'état magnétique de l'aimant et

font naître dans le fil de la bobine B des courants d'induction alternativement positifs et négatifs.


Fig. 22.



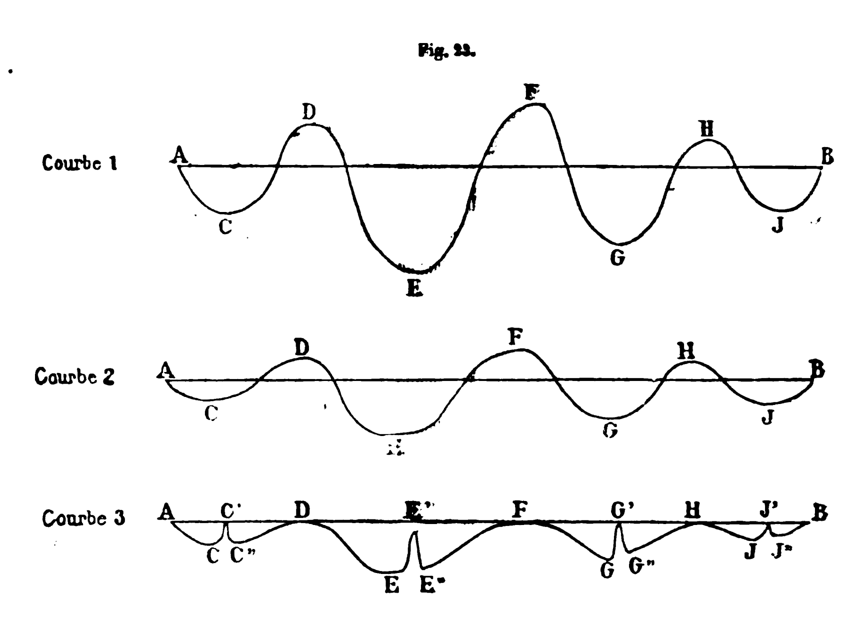
Ces courants étant reçus dans la bobine B d'un appareil semblable, modifient l'état magnétique de l'aimant A ainsi que l'effet de son attraction sur le diaphragme CB qui sera plus ou moins attiré selon que les courants d'induction seront négatifs ou positifs ; de sorte qu'il vibrera de la même manière que le diaphragme du transmetteur et reproduira les mêmes sons articulés que ceux qui ont engendré les vibrations dans l'appareil du départ.

Pour mieux faire comprendre les explications suivantes, admettons que, dans l'appareil du départ, le rapprochement du diaphragme sur l'aimant donne naissance à un courant induit positif et que son éloignement donne lieu à un courant négatif. Admettons aussi que,

dans l'appareil récepteur, un courant positif augmente la puissance magnétique de l'aimant et qu'un courant négatif la diminue.

Supposons maintenant que la courbe 1 (*fig.* 23) repré-

Fig. 23.



sente les vibrations du diaphragme de l'appareil transmetteur sous l'influence de sons articulés, les abscisses indiquant le temps, et les ordonnées, l'amplitude des vibrations. La courbe 2 représentera les vibrations du diaphragme de l'appareil récepteur en admettant que, par suite de la transformation, l'énergie des vibrations produites sous l'influence magnétique soit moitié de celle résultant de l'action de la parole sur le diaphragme du départ.

En effet, l'examen de la courbe 1 nous fait voir que, dans son mouvement vibratoire, pendant le temps AC, le

diaphragme du départ quittant sa position normale se rapproche de l'aimant et fait naître, dans la bobine, un courant positif croissant d'intensité qui, augmentant le magnétisme dans l'appareil d'arrivée, produit une plus grande attraction sur le diaphragme qui se rapproche aussi de l'aimant comme cela a lieu au poste de départ, mais avec une puissance moitié moindre.

Pendant le temps CD, le diaphragme au départ s'éloigne de l'aimant pour se redresser vers sa position normale et pour la dépasser ensuite. Ce mouvement produit un courant induit négatif décroissant d'intensité qui diminue dans l'appareil récepteur la puissance magnétique de l'aimant devenant ainsi graduellement plus faible qu'à son état permanent. Le diaphragme, attiré de moins en moins, se soulève jusqu'au delà de sa position normale, dans la proportion de moitié de l'amplitude du mouvement au poste de départ.

Pendant les temps DE, FG et HJ, le diaphragme au départ se rapproche de l'aimant et développe dans la bobine, des courants induits positifs croissant d'intensité dont l'action sur l'aimant, à l'arrivée, se traduit par l'attraction du diaphragme dans la même proportion, par rapport au mouvement du diaphragme au départ.

Pendant les temps EF, GH, JB, le diaphragme au départ s'éloigne de l'aimant et développe dans la bobine des courants induits négatifs décroissant d'intensité dont l'action sur l'aimant, à l'arrivée, se traduit par l'éloignement du diaphragme proportionnellement aux mouvements accomplis par le diaphragme au départ.

Or, l'expérience démontre qu'un téléphone à aimant reproduit exactement la parole transmise au moyen d'un téléphone semblable. Il résulte donc de l'analyse ci-dessus que, pour reproduire exactement la parole arti-

culée, le diaphragme récepteur doit reproduire dans un temps égal, le même nombre de vibrations que celles du diaphragme transmetteur, avec une amplitude proportionnelle ou égale.

Faisons remarquer que si l'amplitude des vibrations du diaphragme récepteur était égale à l'amplitude des vibrations du diaphragme transmetteur, l'intensité des sons reproduits serait égale à l'intensité des sons transmis, par conséquent la voix à l'arrivée serait aussi forte que la voix au départ.

La courbe 3 (*fig.* 23) représente les mouvements du diaphragme d'un récepteur dont on aurait remplacé l'aimant A (*fig.* 22) par un noyau en fer doux; le diaphragme vibrant sous l'influence de courants induits déterminés par les vibrations d'un diaphragme transmetteur telles que les représente la courbe 1.

Pendant le temps AC, le diaphragme, au départ, quittant sa position normale, se rapproche de l'aimant et détermine, dans la bobine, un courant induit positif croissant d'intensité qui aimante progressivement le barreau en fer doux du récepteur, à l'arrivée, le diaphragme est donc attiré, et, si nous supposons que l'effet magnétique ait une puissance égale à la moitié de celle qui se manifeste sur le diaphragme au départ, l'amplitude du diaphragme à l'arrivée sera la moitié de l'amplitude du diaphragme au départ.

Pendant le temps CD, le diaphragme au départ s'éloigne de l'aimant au delà de sa position normale et détermine un courant induit négatif décroissant, qui renverse le sens de l'aimantation dans l'appareil récepteur dont le barreau en fer doux passe très rapidement d'une aimantation nord à un état magnétique neutre, puis à une aimantation sud. Pendant ce temps CC'C'', le dia-

phragme se relève brusquement pour être attiré de nouveau, et se relève ensuite progressivement pour revenir à sa position normale.

Pendant les temps DE, FG et HJ, le diaphragme, au départ, se rapproche de l'aimant et développe, dans la bobine, des courants induits positifs croissant d'intensité dont l'action sur l'électro-aimant du récepteur se traduit par des aimantations nord sous l'influence desquelles le diaphragme est attiré progressivement et proportionnellement à l'amplitude du mouvemement du diaphragme transmetteur.

Pendant les temps EF, GH, JB, le diaphragme transmetteur s'éloigne de l'aimant et développe dans la bobine, des courants induits négatifs décroissant d'intensité dont l'action se traduit par un renversement d'aimantation du récepteur, dont le diaphragme se redresse brusquement pendant les temps EE', GG', JJ″ puis est réattiré brusquement encore pendant les temps E'E″, G'G″ J'J″ pour se relever ensuite progressivement jusqu'à sa position normale.

On voit que la courbe 3 diffère des courbes 1 et 2, par conséquent les mouvements de diaphragme qu'elle représente ne peuvent pas reproduire la voix articulée et l'expérience confirme parfaitement cette théorie. Lorsqu'on se sert d'un récepteur téléphonique à noyau de fer doux pour recevoir les sons transmis par un transmetteur à courants inversés, on entend seulement que quelqu'un parle ; mais on ne peut pas distinguer les paroles. Le peu de timbre de voix que l'on perçoit est dû aux mouvements du diaphragme AC, C″DE, E″FG, G″HJ (courbe 3), et le défaut d'articulation provient des accidents CC'C″, EE'E″, GG'G″, JJ'J″.

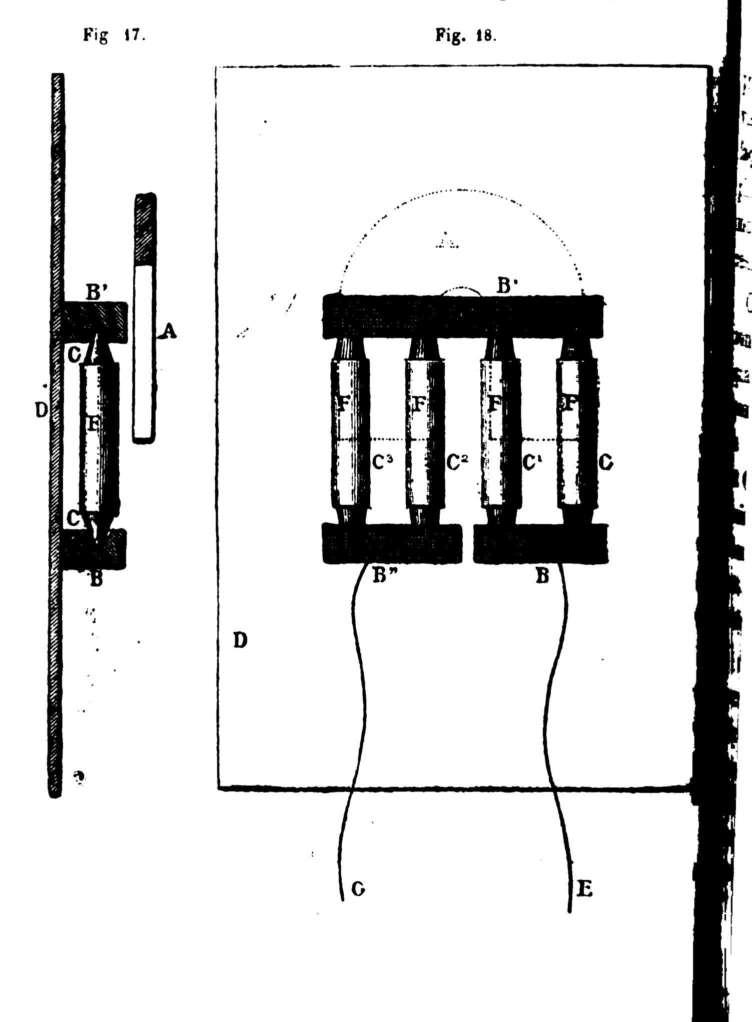
Nous avons vu, au commencement de cette étude,

Système Paul Bert et d'Arsonval.

MM. Paul Bert et d'Arsonval ont imaginé, le premier un transmetteur, le second un récepteur qui forment un système complet donnant dans la pratique de remarquables résultats.

La disposition des charbons sur le diaphragme du transmetteur (*fig.* 17 et 18) a beaucoup d'analogie avec

Fig 17. Fig. 18.



celle du microphone de Hughes; elle n'en diffère que par le nombre des charbons et le mode de réglage qui permet à cet appareil de transmettre la parole articulée.

Dans des trous coniques, pratiqués dans les blocs de charbon B, B' et B'', sont placés les crayons de charbons C, C¹, C² et C³ recouverts d'une enveloppe de fer-blanc F et derrière lesquels se trouve un aimant A que l'on voit en coupe (*fig.* 17) et pointillé (*fig.* 18).

Cet aimant, que l'on peut régler facilement en le rapprochant ou en l'éloignant des charbons au moyen d'une vis, attire l'enveloppe en tôle des charbons mobiles de façon que, sous l'influence des vibrations du diaphragme D, leurs contacts sur les blocs B, B' et B'' se modifient sans rupture et produisent les variations de résistance et d'intensité qui ont été déjà expliquées.

On voit, en outre (*fig.* 18), que les cylindres de charbon mobiles sont disposés, deux en tension et deux en quantité; le courant entrant par E va dans le bloc B, passe simultanément dans les cylindres C et C¹, dans le bloc B', puis simultanément dans les cylindres C² et C³, et sort par le bloc B'' pour compléter son circuit à travers le fil primaire d'une bobine d'induction dont le fil secondaire est en relation avec les récepteurs et la ligne, comme dans tous les autres systèmes déjà décrits.

Cette disposition des charbons attirés par un aimant permet, comme dans le système Sieur et Bassompierre, de placer le transmetteur dans une position quelconque pour s'en servir. Les constructeurs, MM. de Branville et Ladislas Lenczewski, ont ingénieusement tiré parti de cette particularité qui leur a permis de réaliser un appareil portatif pour poste militaire et pour poste central

d'une pile à travers le fil primaire d'une bobine d'induction dont le fil secondaire est en communication avec les récepteurs et la ligne.

Pour récepteur, M. Dunaud se sert du téléphone Bell ordinaire ou du condensateur.

On sait que M. Dunaud est un de ceux qui, les premiers, sont parvenus à faire reproduire la parole articulée par le condensateur.

THÉORIE DU CONDENSATEUR PARLANT.

Il ne sera peut-être pas sans intérêt, puisque nous sommes amenés sur ce sujet, de donner ici une théorie expliquant le phénomène du condensateur parlant.

Pour cela, nous procéderons par analogie en examinant d'abord ce qui se passe dans les téléphones électromagnétiques.

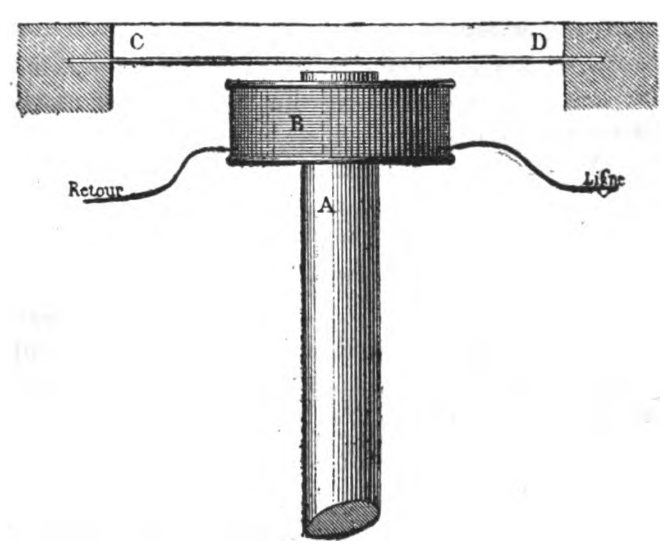
On sait que les éléments constitutifs d'un téléphone Bell (*fig.* 22) sont : 1° une plaque ou diaphragme circulaire CD, en tôle, fixé rigidement par sa circonférence; 2° un aimant A dont l'un des pôles, muni d'une bobine B, est fixé tout près du diaphragme et au centre de celui-ci.

Sous l'influence du magnétisme permanent de l'aimant A, le diaphragme CD, à l'état normal, est toujours attiré et présente une légère courbure convexe du côté de l'aimant.

Quand on parle sur le diaphragme CD, il vibre sous l'influence de la parole; c'est-à-dire qu'il est soumis à une série de flexions et de redressements alternatifs qui le rapprochent ou l'éloignent de l'aimant. Et, comme ce diaphragme est en fer, ces rapprochements et ces éloignements modifient l'état magnétique de l'aimant et

font naître dans le fil de la bobine B des courants d'induction alternativement positifs et négatifs.


Fig. 22.



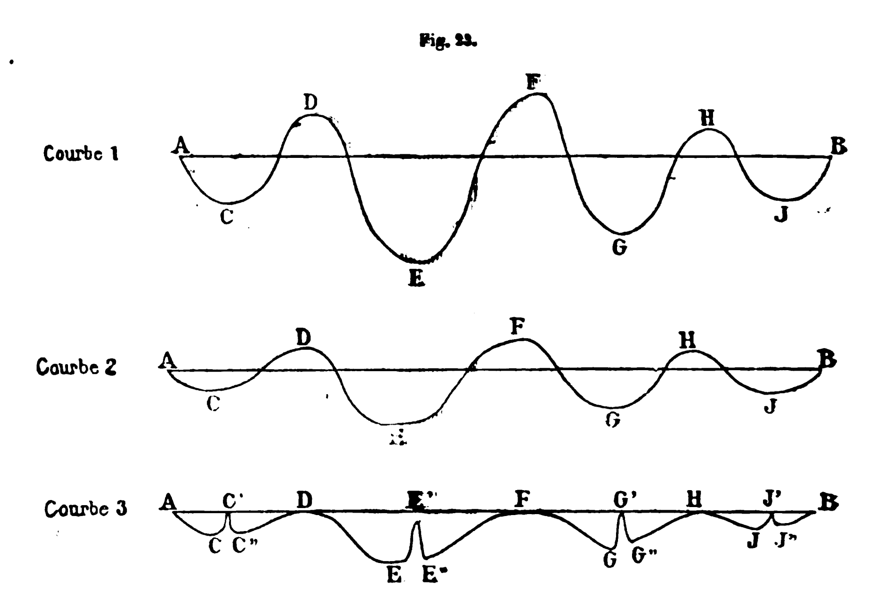
Ces courants étant reçus dans la bobine B d'un appareil semblable, modifient l'état magnétique de l'aimant A ainsi que l'effet de son attraction sur le diaphragme CB qui sera plus ou moins attiré selon que les courants d'induction seront négatifs ou positifs; de sorte qu'il vibrera de la même manière que le diaphragme du transmetteur et reproduira les mêmes sons articulés que ceux qui ont engendré les vibrations dans l'appareil du départ.

Pour mieux faire comprendre les explications suivantes, admettons que, dans l'appareil du départ, le rapprochement du diaphragme sur l'aimant donne naissance à un courant induit positif et que son éloignement donne lieu à un courant négatif. Admettons aussi que,

dans l'appareil récepteur, un courant positif augmente la puissance magnétique de l'aimant et qu'un courant négatif la diminue.

Supposons maintenant que la courbe 1 (*fig.* 23) repré-

Fig. 23.



sente les vibrations du diaphragme de l'appareil transmetteur sous l'influence de sons articulés, les abscisses indiquant le temps, et les ordonnées, l'amplitude des vibrations. La courbe 2 représentera les vibrations du diaphragme de l'appareil récepteur en admettant que, par suite de la transformation, l'énergie des vibrations produites sous l'influence magnétique soit moitié de celle résultant de l'action de la parole sur le diaphragme du départ.

En effet, l'examen de la courbe 1 nous fait voir que, dans son mouvement vibratoire, pendant le temps AC, le

diaphragme du départ quittant sa position normale se rapproche de l'aimant et fait naître, dans la bobine, un courant positif croissant d'intensité qui, augmentant le magnétisme dans l'appareil d'arrivée, produit une plus grande attraction sur le diaphragme qui se rapproche aussi de l'aimant comme cela a lieu au poste de départ, mais avec une puissance moitié moindre.

Pendant le temps CD, le diaphragme au départ s'éloigne de l'aimant pour se redresser vers sa position normale et pour la dépasser ensuite. Ce mouvement produit un courant induit négatif décroissant d'intensité qui diminue dans l'appareil récepteur la puissance magnétique de l'aimant devenant ainsi graduellement plus faible qu'à son état permanent. Le diaphragme, attiré de moins en moins, se soulève jusqu'au delà de sa position normale, dans la proportion de moitié de l'amplitude du mouvement au poste de départ.

Pendant les temps DE, FG et HJ, le diaphragme au départ se rapproche de l'aimant et développe dans la bobine, des courants induits positifs croissant d'intensité dont l'action sur l'aimant, à l'arrivée, se traduit par l'attraction du diaphragme dans la même proportion, par rapport au mouvement du diaphragme au départ.

Pendant les temps EF, GH, JB, le diaphragme au départ s'éloigne de l'aimant et développe dans la bobine des courants induits négatifs décroissant d'intensité dont l'action sur l'aimant, à l'arrivée, se traduit par l'éloignement du diaphragme proportionnellement aux mouvements accomplis par le diaphragme au départ.

Or, l'expérience démontre qu'un téléphone à aimant reproduit exactement la parole transmise au moyen d'un téléphone semblable. Il résulte donc de l'analyse ci-dessus que, pour reproduire exactement la parole arti-

culée, le diaphragme récepteur doit reproduire dans un temps égal, le même nombre de vibrations que celles du diaphragme transmetteur, avec une amplitude proportionnelle ou égale.

Faisons remarquer que si l'amplitude des vibrations du diaphragme récepteur était égale à l'amplitude des vibrations du diaphragme transmetteur, l'intensité des sons reproduits serait égale à l'intensité des sons transmis, par conséquent la voix à l'arrivée serait aussi forte que la voix au départ.

La courbe 3 (*fig.* 23) représente les mouvements du diaphragme d'un récepteur dont on aurait remplacé l'aimant A (*fig.* 22) par un noyau en fer doux; le diaphragme vibrant sous l'influence de courants induits déterminés par les vibrations d'un diaphragme transmetteur telles que les représente la courbe 1.

Pendant le temps AC, le diaphragme, au départ, quittant sa position normale, se rapproche de l'aimant et détermine, dans la bobine, un courant induit positif croissant d'intensité qui aimante progressivement le barreau en fer doux du récepteur, à l'arrivée, le diaphragme est donc attiré, et, si nous supposons que l'effet magnétique ait une puissance égale à la moitié de celle qui se manifeste sur le diaphragme au départ, l'amplitude du diaphragme à l'arrivée sera la moitié de l'amplitude du diaphragme au départ.

Pendant le temps CD, le diaphragme au départ s'éloigne de l'aimant au delà de sa position normale et détermine un courant induit négatif décroissant, qui renverse le sens de l'aimantation dans l'appareil récepteur dont le barreau en fer doux passe très rapidement d'une aimantation nord à un état magnétique neutre, puis à une aimantation sud. Pendant ce temps CC'C'', le dia-

phragme se relève brusquement pour être attiré de nouveau, et se relève ensuite progressivement pour revenir à sa position normale.

Pendant les temps DE, FG et HJ, le diaphragme, au départ, se rapproche de l'aimant et développe, dans la bobine, des courants induits positifs croissant d'intensité dont l'action sur l'électro-aimant du récepteur se traduit par des aimantations nord sous l'influence desquelles le diaphragme est attiré progressivement et proportionnellement à l'amplitude du mouvemement du diaphragme transmetteur.

Pendant les temps EF, GH, JB, le diaphragme transmetteur s'éloigne de l'aimant et développe dans la bobine, des courants induits négatifs décroissant d'intensité dont l'action se traduit par un renversement d'aimantation du récepteur, dont le diaphragme se redresse brusquement pendant les temps EE', GG', JJ'' puis est réattiré brusquement encore pendant les temps E'E'', G'G'' J'J'' pour se relever ensuite progressivement jusqu'à sa position normale.

On voit que la courbe 3 diffère des courbes 1 et 2, par conséquent les mouvements de diaphragme qu'elle représente ne peuvent pas reproduire la voix articulée et l'expérience confirme parfaitement cette théorie. Lorsqu'on se sert d'un récepteur téléphonique à noyau de fer doux pour recevoir les sons transmis par un transmetteur à courants inversés, on entend seulement que quelqu'un parle ; mais on ne peut pas distinguer les paroles. Le peu de timbre de voix que l'on perçoit est dû aux mouvements du diaphragme AC, C''DE, E''FG, G''HJ (courbe 3), et le défaut d'articulation provient des accidents CC'C'', EE'E'', GG'G'', JJ'J''.

Nous avons vu, au commencement de cette étude,

comment les transmetteurs à pile envoient sur la ligne, par l'intermédiaire de la bobine d'induction, des courants inversés de même ordre mais plus intenses que ceux développés par les téléphones magnéto-électriques. Les courbes représentant les vibrations des diaphragmes de récepteurs à aimant ou à noyau de fer doux seraient conséquemment de même ordre que celles que nous venons d'examiner ; c'est-à-dire, que les abscisses seraient égales et les ordonnées proportionnelles. Dans ce cas le récepteur à aimant reproduirait la parole articulée et le récepteur à fer doux ne reproduirait qu'imparfaitement le timbre de la voix sans articulation des paroles.

Cependant un téléphone à noyau de fer doux peut reproduire la parole articulée :

1° Sous l'iufluence de courants inversés ondulatoires si on intercale une pile sur la ligne, parce que le courant de cette pile aimante d'une façon permanente le noyau en fer doux du récepteur qui acquiert ainsi les propriétés d'un récepteur à aimant.

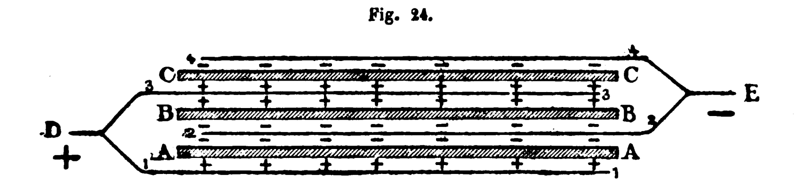
2° Si l'on emploie sans l'intermédiaire de bobine d'induction, un microphone ou transmetteur à pile *tel que* ceux décrits en commençant. Parce que le récepteur à fer doux est soumis à une aimantation permanente qui varie seulement de puissance sous l'influence des variations d'intensité produites par les vibrations du transmetteur, d'où il résulte que le diaphragme récepteur reproduit des vibrations de même ordre.

Nous allons retrouver, dans l'étude du condensateur téléphonique, des phénomènes tout à fait analogues à ceux qui viennent d'être signalés dans les téléphones récepteurs magnéto-électriques et électro-magnétiques.

Le condensateur le plus ordinairement employé comme récepteur est de petite dimension et, par conséquent,

d'une très faible capacité électro-statique. Il se compose de 20 ou 30 feuilles de papier ordinaire d'environ cinquante centimètres carrés, superposées et séparées les unes des autres par de minces feuilles d'étain disposées comme on le voit figure 24, les lignes 1, 2,

Fig. 24.

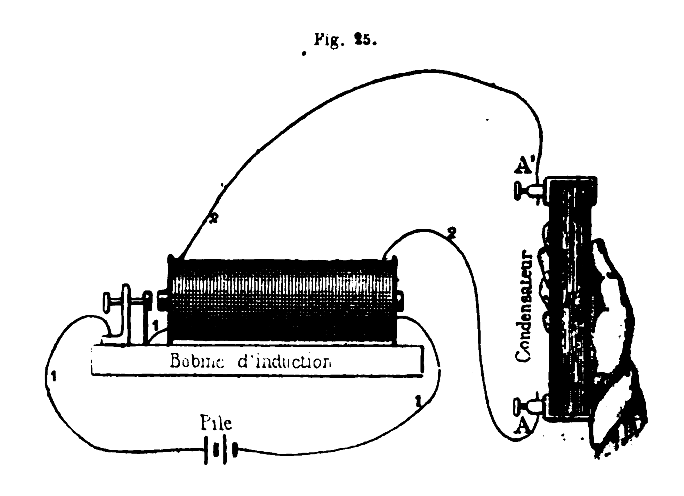


3 et 4 représentant les feuilles d'étain et, les coupes A, B, C, les feuilles de papier en dimensions exagérées pour plus de clarté. Toutes les feuilles d'étain impaires sont reliées ensemble en D et toutes les feuilles paires sont reliées de la même manière en E, formant ainsi les deux armatures du condensateur. Le tout est placé entre deux couvertures, en carton, en bois ou en ébonite, serrées à leurs extrémités sur lesquelles on fixe deux bornes communiquant chacune à une armature. Quand on met en communication les deux armatures A A′ d'un condensateur ainsi construit, avec les deux extrémités du fil secondaire d'une bobine d'induction à trembleur (*fig.* 25) dont le fil primaire est actionné par une pile de faible résistance intérieure, si le trembleur est convenablement réglé on entend immédiatement des vibrations sonores très puissantes émanant du condensateur et dont la hauteur de son est en rapport avec le nombre des ruptures de contact du trembleur. Si l'on prend à la main le condensateur par ses deux couvertures, on sent que ces vibrations se manifestent mécaniquement par une série d'écartements et de rappro-

chements des couvertures et, par conséquent, des feuilles qui constituent le condensateur, ce qui peut s'expliquer facilement.

Supposons l'armature D d'un condensateur (*fig.* 24),

Fig. 25.



reliée au pôle positif d'une source électrique dont le pôle négatif est relié à l'armature E. Le courant positif arrivant par les feuilles d'étain 1 et 3 tend à se combiner à travers les feuilles de papier avec le courant négatif arrivant par les feuilles d'étain 2 et 4. Par ce fait, la surface inférieure de la feuille de papier A se trouve chargée positivement et, sa surface supérieure, négativement. La surface inférieure de la feuille de papier B est chargée négativement et, sa surface supérieure, positivement. La surface inférieure de la feuille de papier C est chargée positivement et, sa surface supérieure est chargée négativement. Deux feuilles de papier consécutives présentent donc entre elles deux surfaces chargées d'électricité de même nom et, par conséquent, se

repoussent; d'où il résulte que toutes les feuilles d'un condensateur chargé s'écartent les unes des autres, et d'autant plus que la tension électrique est grande.

Si le courant positif arrivait en E et le courant négatif en D, les surfaces actuellement chargées d'électricité négative prendraient des charges d'électricité positive, et celles qui sont actuellement chargées d'électricité positive, prendraient des charges d'électricité négative.

Mais les surfaces voisines de deux feuilles consécutives seraient toujours chargées d'électricité de même nom et l'écartement des feuilles du condensateur se produirait de la même manière.

Si on décharge le condensateur, ce que l'on fait enlevant les communications avec la source électrique et en reliant les armatures E et D par un conducteur, les deux électricités de nom contraire se recombinent et les feuilles du condensateur, n'étant plus électrisées, ne se repoussent plus et reprennent leur position normale.

Donc, dans l'expérience précédente (*fig.* 25), au moment de la rupture du courant dans le circuit primaire de la bobine, il se produit dans le fil secondaire un courant induit qui charge positivement, par exemple, l'armature A du condensateur et négativement l'armature A'. Les feuilles du condensateur se repoussent et s'écartent les unes des autres, puis, comme ce condensateur a une très faible capacité, il a commencé déjà de se décharger à travers le fil induit de la bobine d'induction quand le trembleur rétablit le circuit de la pile dans le fil primaire, et les feuilles du condensateur commencent à se rapprocher. Ce mouvement est accentué par le courant induit qui se produit à ce moment et qui achève de décharger le condensateur pour recharger aussitôt l'armature A négativement et l'armature A' positivement, et ainsi de suite.

De là ces écartements et rapprochements successifs signalés plus haut.

Si l'on prend un condensateur pour récepteur téléphonique, le transmetteur étant un puissant téléphone magnéto-électrique ou, mieux encore, un bon microphone ou transmetteur à pile agissant par l'intermédiaire d'une bobine d'induction, on entend parler; mais on ne distingue pas les paroles; on obtient le même résultat que si l'on avait pris comme récepteur un téléphone électro-magnétique à noyau de fer doux. Pour suivre les effets produits, reportons-nous à la figure 23, la courbe 1 représentant les mouvements du diaphragme transmetteur.

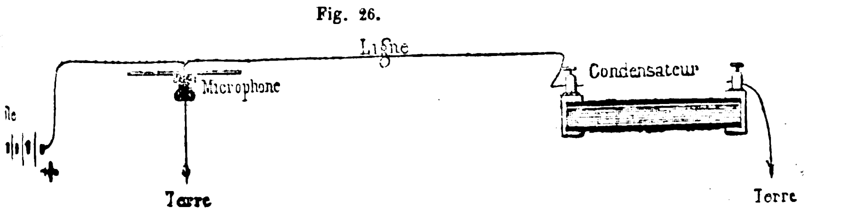
Pendant les temps AC, DE, FG, HJ, le mouvement du diaphragme transmetteur produit un courant induit positif d'intensité croissante; le condensateur récepteur se charge progressivement et ses feuilles s'écartent proportionnellement aux amplitudes du diaphragme transmetteur, mouvement qui peut se représenter par la courbe 3 en AC, DE, FG, HJ.

Pendant les temps CD, EF, GH, JB, le mouvement du diaphragme transmetteur détermine un courant négatif induit décroissant d'intensité. Le condensateur se décharge rapidement pour se charger ensuite en sens opposé, les feuilles se rapprochent vivement pour s'éloigner de nouveau; double mouvement qui peut se représenter par CC'C'', EE'E'', GG'G'', JJ'J''; puis, l'intensité du courant décroissant, le condensateur se décharge progressivement par la ligne, ce qui produit le rapprochement de ses feuilles et peut se représenter par C''D, E''F, G''H, J''B. Le condensateur ne peut donc pas, dans ces conditions, reproduire la parole articulée puisque ses feuilles ne vibrent pas de la même manière que le

diaphragme transmetteur. Mais nous savons qu'elles vibrent comme le diaphragme d'un récepteur électro-magnétique à fer doux. Nous savons aussi qu'en soumettant le récepteur électro-magnétique à fer doux à l'action d'un courant permanent, il acquiert les propriétés d'un téléphone ordinaire. Nous pouvons en conclure qu'en soumettant le condensateur à l'action d'un courant qui le charge d'une façon permanente, il sera propre à reproduire des vibrations semblables à celles du diaphragme transmetteur et à reproduire la parole; mais vérifions le fait.

Le courant positif d'une pile (*fig.* 26) est envoyé en

Fig. 26.



permanence sur la ligne. Les contacts d'un microphone dérivent à la terre une partie de ce courant dont l'autre partie est reçue dans le condensateur.

Ce condensateur se charge suivant le potentiel du fluide qui arrive jusqu'à lui. La position normale des feuilles de ce condensateur, dans ce cas, consiste en un léger écartement entre elles, provenant de la charge permanente.

Nous supposons que l'on parle sur le microphone et que la courbe 1 (*fig.* 23) représente les mouvements vibratoires du diaphragme transmetteur.

Pendant les temps AC, DE, FG, HJ, le diaphragme transmetteur comprime progressivenent les contacts de

charbon et augmente ainsi la dérivation à la terre. L'intensité du courant diminue progressivement sur la ligne. Le condensateur se décharge et ses feuilles se rapprochent progressivement, comme l'indique la courbe 2 en AC, DE, FG, HJ.

Pendant les temps CD, EF, GH, la compression du diaphragme transmetteur sur les charbons décroît progressivement jusqu'au delà de la compression normale. La dérivation à la terre diminue peu à peu. L'intensité du courant augmente progressivement sur la ligne. Le condensateur se recharge et ses feuilles s'écartent progressivement, comme l'indique la courbe 2 en CD, EF, GH.

Les feuilles du condensateur vibrent donc, dans ce cas, de la même manière que le diaphragme transmetteur et doivent reproduire la parole.

L'expérience confirme, d'ailleurs, cette théorie.

Si l'on se sert d'un transmetteur ou microphone agissant sur la ligne par l'intermédiaire d'une bobine d'induction, on prend la disposition représentée *fig.* 27.

Fig. 27.

Le microphone ferme le circuit d'une pile de transmission passant par le fil primaire de la bobine d'induction dont l'une des extrémités du fil induit est reliée à la ligne et l'autre à la terre ou à un fil de retour. On intercale, en outre, une pile sur la ligne.

Le condensateur récepteur se charge au potentiel de cette pile. Les feuilles prennent, comme position normale, un léger écartement entre elles.

Quand on parle devant le microphone, les vibrations du diaphragme donnent lieu à des variations d'intensité du courant dans le circuit primaire de la bobine d'induction, qui se traduisent par des courants induits, alternativement positifs et négatifs, dans le circuit secondaire qui est en communication avec la ligne sur laquelle est placée la pile de charge.

Ces courants sont d'ailleurs ondulatoires. Les courants positifs, d'intensité croissante, augmentent graduellement la tension de la charge du condensateur et, par suite, les feuilles prennent graduellement un peu plus d'écartement.

Les courants négatifs, d'intensité décroissante, diminuent la tension de la charge du condensateur et les feuilles se rapprochent graduellement. Ces feuilles du condensateur vibrent donc absolument de la même façon que le diaphragme d'un récepteur magnéto-électrique. Le condensateur ainsi disposé est donc susceptible de reproduire exactement les mêmes vibrations que celles d'un diaphragme transmetteur et, par conséquent, de reproduire la parole articulée.

La parole reproduite par le condensateur est très nette. Son timbre est moins métallique et plus naturel que si elle était reproduite par un téléphone; mais elle est beaucoup plus faible. On arrive cependant à rendre les sons plus intenses en augmentant la pile de charge placée sur la ligne, ce qui présente néanmoins de sérieux inconvénients dans la pratique.

On peut également faire parler un condensateur avec la disposition de la *fig.* 27, en substituant, au micro-

phone et à la bobine d'induction, un téléphone magnéto-électrique comme transmetteur.

Dans ce cas, si la pile de charge est suffisante, on peut parler sur le condensateur et recevoir la parole sur le téléphone. On voit donc que le condensateur peut également servir de transmetteur téléphonique.

(*A suivre.*) SIEUR.

NOTE RELATIVE

A

L'INFLUENCE DE LA PROPRETÉ DES ISOLATEURS

SUR L'ISOLEMENT DES LIGNES.

Dans les dépendances du magasin de l'Administration télégraphique, 21, rue Bertrand, j'ai installé, à l'air libre, un certain nombre d'isolateurs à double cloche qui me servent d'appuis pour des fils métalliques de toute sorte dont je mesure les conductibilités électriques. Le 19 décembre, par un temps beau et sec, j'ai fait sur ces isolateurs les expériences suivantes :

Un fil métallique de 315 mètres de long étant soutenu par 26 de ces isolateurs, et ayant l'une de ses extrémités isolée, tandis que l'autre aboutissait à mes appareils d'expérimentation, j'ai constaté que l'isolement variait ainsi qu'il suit avec l'état de propreté des isolateurs :

1° Ces isolateurs, installés depuis quatre mois, et n'ayant pas été nettoyés depuis cette époque, de plus l'un d'eux ayant une fente à la cloche extérieure jusqu'à la demi-hauteur à partir du bas, l'isolement total de ce fil était représenté par 55 megohms.

2° Les conditions étant les mêmes, mais l'isolateur fendu remplacé par un isolateur en bon état et propre, l'isolement du fil était représenté par 85 megohms.

3° Tous les isolateurs ayant été nettoyés à l'intérieur, l'isolement du fil s'est élevé à 750 megohms.

Lors de la première expérience, les isolateurs étaient peu sales, ils n'avaient guère que quelques toiles d'araignée et un peu de poussière que celles-ci retenaient; ils étaient dans les conditions où ils se trouvent sur les lignes quand ils sont propres ; si l'influence de ce peu de saleté a été si grande sur l'isolement, il y a lieu de penser que lorsque le nettoyage des isolateurs sur les lignes n'est pas assez fréquent, les pertes à la terre et les dérivations d'un fil à l'autre doivent être considérables. Je me propose de profiter de l'installation que j'ai faite pour étudier de plus près cette question.

En supposant que tous les isolateurs aient des pertes égales, on trouve que, dans le cas de la deuxième expérience ci-dessus, l'isolement de chaque isolateur est représenté par 2.210 megohms.

Dans le cas de la troisième expérience, il est représenté par 19.500 megohms.

LAGARDE.

RAPPORT DU JURY INTERNATIONAL

DE

L'EXPOSITION D'ÉLECTRICITÉ DE 1881

(EXTRAIT)

TRANSMISSION DE L'ÉLECTRICITÉ

Fils, câbles et accessoires.

Pour transmettre l'électricité d'un point à un autre, on relie les deux points par un fil *conducteur* que l'on *isole* du milieu ambiant afin d'atténuer les déperditions pendant le trajet. L'examen doit donc porter en premier lieu sur les *fils conducteurs* et les *matières isolantes*.

I

SECTION I. — *Fils conducteurs.*

Cuivre. — Dans l'échelle des conductibilités, le cuivre pur tient le rang le plus élevé après l'argent qu'il suit de très près ; mais la présence de matières étrangères diminue beaucoup son pouvoir conducteur et la qualification de cuivre de *haute conductibilité* est synonyme de celle de cuivre *très pur*. Le docteur Matthiessen (*) a étudié l'effet qu'exerce sur la conductibilité du cuivre

(*) Voir l'adresse inaugurale du professeur Abel à la société des ingénieurs des télégraphes de Londres, 2[illegible] janvier 1877.

pur (préparé par l'électrolyse) l'introduction des principales substances que l'on rencontre associées au cuivre naturel. « Il a reconnu qu'il était impossible d'augmenter le pouvoir conducteur du cuivre pur par l'addition d'une autre substance, et que certains éléments non métalliques que l'on rencontre à peu près dans tous les cuivres du commerce (notamment l'oxygène et l'arsenic) altèrent ce pouvoir dans de fortes proportions. Ainsi, la conductibilité du cuivre pur galvanoplastique étant représentée par 100, l'addition de quelques traces d'arsenic la réduit à 60, et une addition de 5 pour 100 la fait tomber à 6,5 (*).

« La fusion du métal pur au contact de l'air ramène au bout de très peu de temps sa conductibilité à 76, et la quantité d'oxygène ou de sous-oxyde de cuivre qui se forme est si faible qu'il est fort difficile de la doser.

« La conductibilité du cuivre est moins altérée par la présence de petites quantités d'autres métaux que par les impuretés non métalliques ; cependant le fer et l'étain la diminuent beaucoup : l'existence de 1,3 pour 100 d'étain dans le métal pur réduit sa conductibilité à 50,4 et celle de 0,48 pour 100 seulement de fer la fait tomber à 36.

« Les travaux de Matthiessen et d'autres chimistes permettent d'expliquer les qualités de malléabilité et de ductilité que donne au cuivre l'addition d'un peu de plomb. Cependant l'addition de 0,25 pour 100 de plomb rend le cuivre cassant, et il suffit même de 0,1 pour 100 pour rendre impossible le passage à la filière ; les excellents effets produits par l'addition d'un peu de plomb dans l'affinage du cuivre prouvent donc que le plomb

(*) M. Mouchel (France) expose un échantillon de cuivre avec 10 p. 100 d'arsenic, dont la conductibilité est 2,66 (voir page 157).

agit en se combinant avec des impuretés du cuivre et en s'éliminant avec elles, puisque l'analyse du cuivre ainsi traité ne révèle que la présence de quelques traces de plomb. Il est très probable que le plomb agit comme désoxydant en raison de sa grande affinité pour l'oxygène.

« Un échantillon de cuivre pur, après sa fusion au contact de l'air, avait une conductibilité de 87,25 ; en ajoutant 0,1 pour 100 de plomb, et fondant le tout dans un courant d'acide carbonique, la conductibilité est remontée à 93, et la quantité de plomb restant dans le métal était trop faible pour être dosée. L'étain donne des résultats analogues : un alliage de cuivre pur avec 1,3 p. 100 d'étain a une conductibilité de 50,4 ; mais en ajoutant 0,1 p. 100 d'étain à l'échantillon de cuivre qui avait été fondu au contact de l'air, la conductibilité de ce dernier est remontée de 87,25 à 94,55, quelques traces d'étain seulement restant dans le cuivre.

« L'addition de petites quantités de substances facilement oxydables, comme le phosphore (qui cependant altère beaucoup la conductibilité du cuivre), a le même effet que celle de ces métaux oxydables.

« Ainsi l'effet de l'oxygène, que l'on rencontre dans presque tous les cuivres du commerce, sur la conductibilité électrique de ce métal, peut être combattu avec succès par l'addition judicieuse de certaines autres impuretés, que l'on emploie avec avantage comme agents chimiques, bien que, si elles restaient alliées à ce métal, elles altéreraient sa conductibilité autant que l'impureté qu'elles permettent d'éliminer.

« Matthiessen a trouvé pour la conductibilité des cuivres commerciaux qu'il a analysés des valeurs variant de 94 à 92..... » (*).

(*) Professeur Abel, déjà cité.

On atteint aujourd'hui facilement des conductibilités de 90 et au-dessus, rapportées au cuivre pur.

La conductibilité d'un cuivre, par rapport au cuivre pur, se calcule en sachant que 1 mètre de fil de cuivre pur pesant 1 gramme a une résistance de 0,144 ohm à la température de 0° C. Si l mètres d'un fil de cuivre pesant P grammes ont une résistance R_0 à la température de 0°, la conductibilité de ce fil par rapport au cuivre pur sera donnée par la relation

$$C = \frac{14,4 \times l^2}{PR_0}.$$

La résistance R_0 se déduit de la résistance R_t à la température t, par la relation $R_t = R_0 (1 + \alpha t)$ dans laquelle $\alpha = 0,00388$, ou approximativement 0,004.

La comparaison se fait quelquefois à la température de 15°,5 C (60° Fahrenheit), et dans la télégraphie sous-marine, toujours à la température de 24° C. (75° Fahrenheit).

A la température de 15°,5, 1 mètre de fil de cuivre pur pesant 1 gramme a une résistance de 0,1526 ohm; et, à la température de 24° C, de 0,1575 ohm.

La conductibilité du cuivre est quelquefois rapportée à celle du mercure, en particulier quand les mesures s'effectuent en unités Siemens. On admet alors que la conductibilité du cuivre pur est 60 fois celle du mercure pur à 0° C.

Dans les applications télégraphiques, on prend 8,89 comme densité du cuivre; sa charge de rupture est d'environ 28 à 29 kilogrammes par millimètre carré de section.

La fabrication française des fils de cuivre de haute conductibilité est représentée à l'exposition par les maisons Mouchel, Létrange (fonderies de Romilly, Eure),

LAVEISSIÈRE ET FILS, DOPPFELD (fils de cuivre rosette), VIDECOQ (Rugles, Eure), SOCIÉTÉ PARISIENNE DE FONDERIE ET DE LAMINAGE (Mines de cuivre argentifère du Var, arrondissement de Puget-Théniers, Alpes-Maritimes), WEILLER ET MONTEFIORE-LEVI (Angoulême), OESCHGER MESDACH et Cᵉ, etc.

Les spécimens de M. Mouchel méritent une mention spéciale par leur finesse, leur longueur et les soins apportés au tréfilage. Les fils sont ronds, carrés, ovales, triangulaires. Les fils ronds ont des diamètres depuis 10 millimètres jusqu'à $0^{mm},5$; leur conductibilité est supérieure à 90 pour 100. On voit, entre autres, une pièce de $0^{mm},5$ d'un seul bout mesurant plus de 12 kilomètres, et une autre pièce de $1^{mm},3$ mesurant plus de 15 kilomètres et pesant 181 kilogrammes environ. Dans la pratique, les couronnes ne dépassent guère 80 kilogrammes.

MM. Laveissière et fils exposent l'appareil servant à mesurer la conductibilité des fils; c'est un pont de Wheaststone ordinaire. Le fil est enroulé sur une gorge hélicoïdale creusée à la surface d'un cylindre en bois: on mesure la résistance d'une longueur de 100 mètres comprise entre deux bornes serre-fils.

Dans les sections étrangères, il faut citer les échantillons envoyés par la SOCIÉTÉ ANONYME DE SKULTUNA (Suède).

Fer et acier. — Dans la construction des lignes télégraphiques aériennes, on emploie à peu près exclusivement le fil de fer galvanisé. La densité du fer est d'environ 7,79; comme règle approximative, on admet souvent que le fil de fer galvanisé de 4 millimètres de diamètre pèse 100 kilogrammes par kilomètre (au lieu de 98).

D'après les tables de résistances électrique spécifiques, le fer pur à 0° C. serait 5,94 fois plus résistant que le cuivre pur à la même température. Mais ce rapport doit augmenter avec la température, car le fer varie de 0,63 p. 100 par degré de température et le cuivre de 0,38 p. 100. A la température de 15°,5 C., il est de 6 environ. On admet généralement que le fer employé dans la télégraphie a 7 fois la résistance du cuivre pur, ce qui, à la température de 15°,5, met à 10 ohms environ la résistance d'un kilomètre de fil de 4 millimètres.

Les électriciens américains se sont préoccupés de spécifier la conductibilité du fil de fer galvanisé. Ils la définissent par le *ohm-mile*, c'est-à-dire le poids que doit avoir un mille (1609 mètres) du fil considérée pour que sa résistance soit de 1 ohm. Le *ohm-mile* pour le cuivre pur à 15°,5 C. est de 872 livres.

La condition imposée par les cahiers des charges de la *Western-Union Company* est que la résistance en ohms par mille à 15°,5 C. n'excède pas le quotient de 5.500 par le poids du fil en livres par mille. Un fil pesant 550 livres par mille ne doit pas avoir une résistance supérieure à 10 ohms par mille, ce qui revient à dire qu'un kilomètre de fil de 5 millimètres ne doit pas avoir une résistance supérieure à 6,2 ohms, ou un kilomètre de fil de 4 millimètres une résistance supérieure à 9,7 ohms.

Le fil fourni actuellement à la *Western-Union* aurait un ohm-mile de 4.884 livres; en Angleterre, où l'on commence aussi à introduire des spécifications de ce genre, le ohm-mile des fils livrés au Post-Office ne dépasserait pas 4.900 livres. En d'autres termes, la résistance de ce fil ne dépasserait pas 6,4 fois celle du cuivre pur. Une disposition simple permet de reconnaître

si une couronne de fil remplit les conditions électriques exigées. Supposons, par exemple, que la résistance du fil ne doive pas dépasser 10 ohms par kilomètre, ou 0,1 pour 10 mètres. On déroule la couronne et on fait glisser le fil entre deux doubles galets à ressort qui établissent successivement dans toutes ses parties deux contacts distants de 10 mètres. On forme un pont de Wheaststone dont la portion du fil comprise entre les galets forme l'une des branches; les trois autres branches étant déterminées par la condition que l'équilibre est établi quand la quatrième branche a une résistance de 0,1, tout déplacement de l'aiguille d'un certain côté du zéro indiquera que la portion correspondante du fil a une résistance supérieure à celle exigée.

En France, les cahiers des charges ne spécifient pas encore de conditions de ce genre; ils se bornent à exiger que le fil soit fondu et affiné au bois, et bien recuit; mais la question est à l'étude (*), et, à l'instigation du service télégraphique, un certain nombre d'essais ont été entrepris.

La Compagnie anonyme des forges de Chatillon et Commentry expose divers types de fils de fer pour lignes télégraphiques, provenant les uns de fers au coke, les autres de fontes au bois et affinées au bois. Ils ont été fabriqués dans ses usines du Berry (Tronçais) et de Bourgogne (Plaines de Sainte-Colombe). La Compagnie résume dans le tableau ci-dessous les qualités physiques et électriques de ses fils pour usages télégraphiques :

(*) M. Hughes a appelé notre attention sur les indications que pourrait donner sa balance d'induction dans les recherches relatives aux qualités des fils de fer et d'acier destinés à la télégraphie.

		TRACTION DE RUPTURE par millimètre carré.	ALLONGEMENT pour 100.	PLIAGES à angle droit.	SPIRES sur 10 centimètres.	RÉSISTANCE ÉLECTRIQUE de 1000 mètres de fil de 4 millimètres.
Qualité ordinaire.		Kg				Ohms
Fers au coke. 5 millimètres. 4 — 3 —	Berry, n° 1. . .	44 à 48	5 à 7	4 à 6	18 à 19	10,28
	Bourgogne, n° 1.	40 à 45	6 à 10	4 à 7	18 à 20	10,01
Qualité extra.						
Fers au bois. 5 millimètres. 4 — 3 —	Berry, n° 2. . .	38 à 42	7 à 10	7 à 9	19 à 22	10,34
	Bourgogne, n° 2.	48 à 40	10 à 14	7 à 11	19 à 24	10,84

Des essais faits par le service télégraphique ont donné d'autre part les résultats suivants :

DIAMÈTRE du fil.	TRACTION de rupture par millim. car.	ALLONGEMENT pour 100.	PLIAGES à angle droit.	RÉSISTANCE ÉLECTRIQUE de 1000 mètres de fil de 4 millim. à 0° C.
4 millim.	44 kilog.	9	5	10,14 ohms.
3 —	40 —	13	11	9,31 —

On remarque parmi les échantillons exposés une botte de fil de 3 millimètres dépassant 1.500 mètres de long et pesant 90 kilogrammes ; c'est le maximum de poids obtenu en fabrication courante.

L'acier ayant une résistance à la traction supérieure à celle du fer, son emploi dans la construction des lignes permet d'augmenter la portée et par suite de diminuer le nombre des appuis et des isolateurs. Les efforts des fabricants tendent à obtenir des aciers d'une grande

résistance mécanique et dont la conductibilité se rapproche de celle du fer. Les premiers fils d'acier des forges de Châtillon et Commentry, essayés par le service télégraphique en décembre 1880, ont donné comme résultats :

DIAMÈTRE.	TRACTION de rupture par millim. car.	ALLONGEMENT pour 100.	PLIAGES à angle droit.	RÉSISTANCE ÉLECTRIQUE de 1000 mètres de fil de 4 millim. à 0° C.
4 millim.	71 kilog.	5	6	13,87 ohms.
3 —	85 —	5	6	14,14 —

Les fils d'acier exposés répondraient, d'après la Compagnie aux conditions ci-dessous :

		RÉSISTANCE par millimètre carré.	ALLONGEMENT pour 100.	PLIAGES à angle droit.	SPIRES sur 10 centimètres.	RÉSISTANCE ÉLECTRIQUE de 1000 mètres de fil de 4 millimètres.
		Kilog.				Ohms.
Qualité pour Télégraphes. 5 millimètres. 4 — 3 —	Acier Tronçais doux et extra-doux.	45 à 50 55 à 60	5 à 7 5 à 6	6 à 9 6 à 8	18 à 19 18 à 21	11,09 10,30
	Acier Sainte-Colombe doux.	44 à 50	9 à 12	6 à 10	18 à 25	10,35

Par des opérations convenables de trempe et de recuit, on peut obtenir les fils d'acier les plus variés sous le rapport des nuances et de la dureté. Ces fils sont utilisés dans la construction des lignes téléphoniques aériennes, où la conductibilité n'a plus la même importance que lorsqu'il s'agit de lignes télégraphiques à longues distances. La résistance à la rupture de ces fils peut alors

atteindre 140, 150 et même 200 kilogrammes par millimètre carré. La Société de Châtillon et Commentry expose des échantillons de fils d'acier de 2 millimètres pour téléphones, présentant les résistances suivantes par millimètre carré :

Acier non trempé galvanisé, 80 kilogrammes ;
Acier trempé galvanisé, 110 kilogrammes ;
Acier trempé noir, 120 kilogrammes.

La conductibilité de ces fils est environ la moitié de celle du fer.

La maison SCHNEIDER et Ce (forges et aciéries du Creusot) fabrique des fils en *métal homogène* ou acier doux galvanisé, dont la conductibilité égale au moins celle des bons fils de fer, mais dont les propriétés mécaniques seraient plutôt inférieures, d'après les expériences faites par le service télégraphique.

DIAMÈTRE.	TRACTION de rupture par millim. car.	ALLONGEMENT pour 100.	PLIAGES à angle droit.	RÉSISTANCE ÉLECTRIQUE de 1000 mètres de fil de 4 millim. à 0° C.
5 millim.	30 kilog.	6	3	9,40 ohms.
4 —	40 —	13	3	9,40 —
3 —	40 —	9	12	9,12 —

Dans une notice, MM. Schneider et Ce font connaître qu'ils se sont préoccupés d'abord d'obtenir avec de l'acier la conductibilité normale du fer, pensant qu'il sera facile ensuite de donner à cet acier des qualités mécaniques supérieures à celles du fer. Ils ont entrepris des essais dans le but de rechercher les causes des variations de conductibilité des aciers ; les résultats de ces essais sont consignés dans le tableau suivant, qui donne, à côté de la résistance électrique d'un échantillon, sa composition chimique :

DÉSIGNATION.	RÉSISTANCE ÉLECTRIQUE de 1000 mètres de fil de 4 millim. en ohms.	TEMPÉRATURE.	COMPOSITION CHIMIQUE. CARBONE pour 100.	SILICIUM pour 100.	MANGANÈSE pour 100.
1. Fer des télégraphes français. . .	10,87	10°	»	»	»
2. Acier doux du Creusot (écroui ou non).	9,37	10°	0,15	0,075	0,18
3. *id.* *id.*	9,80	14°	0,22	0,14	0,22
4. *id.* *id.*	10,44	10°	0,17	0,13	0,32
5. Acier du Creusot (fil de clavecin, diamètre 0,39).	11,56	10°	0,57	?	0,41
6. Fil de câble (Felten et Guilleaume).	12,25	8°	0,62	0,12	0,25
7. Fil de câble (inconnu).	13, »	10°	0,80	0,21	0,41
8. Fil de câble (Richard Johnson).	14, »	8°	0,65	0,15	0,40
9 Acier du Creusot.	14, »	11°	0,65	0,31	0,62
10. *id.*	14,25	10°	0,35	0,35	0,64
11. Inconnu (rupture de 120 à 130 kilogrammes).	16, »	11°	0,54	0,24	1,40
12. Fil d'acier suédois.	18,44	11°	0,78	0,59	0,41

Voici les conclusions que MM. Schneider et Cᵉ tirent de leurs expériences :

« 1° La conductibilité, aussi bien que toutes les autres propriétés physiques, est une fonction de la composition des aciers;

« 2° Le maganèse et le silicium ont une action prédominante. En effet, les aciers classés par ordre de résistance électrique croissante le sont aussi par ordre de teneur croissante en manganèse, sauf deux exceptions: l'une, n° 12 (acier suédois), correspond à une teneur considérable en silicium; l'autre, n° 6 (fil de câble de Felten et Guilleaume) a dû subir des trempes spéciales pour acquérir un haut degré de durcissement. La teneur en carbone, variant très irrégulièrement avec la conductibilité, semble n'avoir sur cette propriété qn'une influence de second ordre.

« 3° L'écrouissage ne diminue pas sensiblement la conductibilité; un échantillon de l'acier doux n° 2,

écroui spécialement, a conservé la résistance électrique moyenne des autres fils de la même coulée; le fil de clavecin n° 5, amené au diamètre de 0mm,39 et non recuit, reste au rang que lui assigne sa teneur en manganèse.

« Il semble donc que l'on pourrait obtenir à volonté, aussi bien que les fils extra-doux exposés, des fils beaucoup plus résistants à la rupture sans altérer notablement la conductibilité; il suffirait pour cela de donner la dureté par le carbone seul, en éliminant soigneusement le silicium et le manganèse; ou, si l'on conserve les aciers doux nos 2, 3, 4, de laisser subsister en partie l'écrouissage dû à la filière. »

A titre de renseignement, et bien que cette société n'ait pas exposé, nous citerons le résultat d'expériences faites sur des fils d'acier non galvanisés de la Société des forges de Firminy.

DIAMÈTRE.	TRACTION de rupture par millim. car.	ALLONGEMENT pour 100	PLIAGES à angle droit.	RÉSISTANCE ÉLECTRIQUE de 1000 mètres de fil de 4 millim. à 0° C.
Millimètres.	Kilogramm.			
4	85	1,9	3	13,13
3	97	1,55	7	13,15
2,2	190	1,8	11	13,61
1,52	148	2,7	13	13,06

Outre son emploi dans la construction des lignes aériennes, le fil de fer sert encore dans la télégraphie à former les armatures des câbles souterrains et sous-marins; et, à l'état de fil ténu, on le retrouve dans les paratonnerres à fil préservateur. Ces trois usages du fil de fer se rencontrent dans l'exposition de la SOCIÉTÉ ANONYME DES HAUTS-FOURNEAUX, FONDERIES ET FORGES DE LA FRANCHE-COMTÉ. On y voit une botte de fil de 2mm,5

d'une longueur de 2.200 mètres sans soudures et des fils fins pour paratonnerres de diamètre $0^{mm},14$ et $0^{mm},21$ mesurant respectivement 34.510 et 24.113 mètres en un seul bout sans soudures.

La maison Felten et Guilleaume, dans la section allemande, expose les produits de son usine *Carlswerk*, à Mulheim-sur-Rhin, affectée exclusivement à la fabrication des fils et cordes métalliques et des câbles télégraphiques.

Les fils télégraphiques sont classés en quatre catégories :

1° Fer au coke, recuit et huilé (huile de lin cuite) ;

2° Fer au bois, recuit et huilé;

3° Flusseisen (acier décarburé) galvanisé ;

4° Fer de haute conductibilité (préparé avec les meilleurs produits allemands et suédois en fer au bois) galvanisé.

Ces quatre qualités répondraient aux spécifications suivantes :

La galvanisation des fils résisterait, sans que le fil soit mis à nu, à sept immersions successives de une minute chacune dans une solution d'une partie de sulfate de cuivre et cinq parties d'eau. Les cahiers des charges en France n'exigent que quatre immersions.

Pour les lignes téléphoniques, la maison Felten et Guilleaume recommande l'emploi de fils en flusseisen de $2^{mm},2$ et $2^{mm},5$ résistant à des tractions de 40 et 65 kilogrammes par milimètre carré, qui possèdent une conductibilité suffisante en même temps qu'une grande souplesse, et celui de fils en acier fondu au creuset, de 2 millimètres et $2^{mm},2$ résistant à 90 et 140 kilogrammes par milimètre carré, d'une élasticité considérable, mais d'une conductibilité moindre.

On peut avoir des fils d'acier fondu de toutes les résistances jusqu'à 200 kilogrammes par millimètre carré. Les fils obtenus par les procédés des exposants auraient leur limite d'élasticité très voisine de la résistance à la rupture, ce qui permet au fil de supporter la tension produite par les plus grands froids et de s'allonger de nouveau quand la température s'élève. Cette *qualité* les distinguerait des fils en acier Bessemer, qui n'ayant pas une limite d'élasticité supérieure à celle du fer, se brisent facilement par les temps froids. Le fil d'acier Felten-Guilleaume s'allongerait de 6 pour 100 à la rupture, alors que le fil d'acier Bessemer ne s'allongerait que de 2 pour 100 en moyenne.

Citons encore des fils télégraphiques de $2^{mm},5$ et des fils à ligature de $1^{mm},6$ et 2 millimètres en flusseisen ou en fer de Suède ; des torons de 3, 4 et 7 fils de $2^{mm},5$ pour haubans ; et des torons de 3 fils de $1^{mm},6$ dont on se servirait en Angleterre et en Belgique comme conducteurs téléphoniques.

La collection de fils galvanisés pour armatures de câbles comprend des fils de 9,5-7,5-5-3,8 millimètres et des fils d'acier dont la résistance de rupture par millimètre carré est indiquée entre parenthèses :

Fils d'acier de 2^{mm},5 (80-90-110) et de 1^{mm},85 (90 à 95);

Fils d'acier pour câbles de torpilles de 2 millimètres et 1^{mm},8 (120), de 1^{mm},1-0,85 et 0,55 (100);

Fils d'acier pour cordes de grappin de 2^{mm},5 (140);

Pour les appareils de sondage, ce sont des fils d'acier non galvanisés de 1^{mm},6-1-0,6 (180).

L'Angleterre distingue quatre qualités de fils de fer désignées par les noms de fils *best*, *best-best*, *extra best-best* et *charcoal* (au bois). Le fil *best* est le fil ordinaire puddlé; en fait, cette désignation s'applique indistinctement à toute espèce de fil télégraphique ou de barre de fer. Le *best-best* est fait avec du fer de qualité supérieure, et le fil *extra best-best* s'obtient par l'introduction du fer au bois dans le fer *best-best*. Tandis qu'en France les cahiers des charges des Télégraphes continuent à exiger du fer au bois recuit, le *Post-Office* y substitue maintenant le fer *best-best*. Il n'emploie plus le fer au bois que pour le fil de ligature, fil n° 16 de la jauge de Birmingham (1^{mm},65).

Le plus gros diamètre des fils télégraphiques correspond au n° 4 (6^{mm},10); on ne s'en sert qu'exceptionnellement et sur les plus longs circuits. Le diamètre courant correspond au n° 8 (4^{mm},31): pour les circuits peu importants, on use du n° 11 (3^{mm},17). Le diamètre est exigé à 0^{mm},127 près (0,005 de pouce). Tous ces fils sont galvanisés. La galvanisation n'a pas d'effet appréciable sur la traction de rupture, mais diminue l'allongement.

Les épreuves mécaniques du fil de fer galvanisé sont au nombre de 4 : 1° pincé dans un étau, il doit pouvoir être plié à angle droit dans les deux sens un certain nombre de fois avant de se rompre ; 2° il doit pouvoir s'enrouler un certain nombre de fois sur lui-même sans se déchirer ; 3° il doit supporter sans se déchirer un certain nombre de torsions sur une longueur donnée : c'est l'épreuve la plus ordinaire de la ductilité ; 4° il doit supporter sans se rompre une certaine traction.

Suivant M. Preece, un bon fil de fer doux, bien recuit, ne doit pas se rompre sous une charge inférieure à 40 kilogrammes par millimètre carré et avec un allongement moindre de 18 pour 100. A toute diminution de ductilité, c'est-à-dire du nombre de torsions sur une longueur déterminée ($0^m,15$), doit correspondre une augmentation de la traction de rupture.

Avec une traction de rupture minima de 40 kilogrammes par millimètre carré, le fil n° 8 ($4^{mm},31$) doit donner les résultats snivants :

	TORSIONS sur $0^m,15$	ALLONGEMENT moyen pour 100.
Best-best	11	15
Extra-best-best	13	16 à 18
Au bois	15	18

MM. Richard Johnson and Nephew (Bradford Iron Works, Manchester) exposent des échantillons de fil de fer galvanisé n° 8 ($4^{mm},31$) en bottes d'un seul bout pesant 63,5 kilogrammes et de fil à ligature n° 16 ($1^{mm},65$), répondant tous aux spécifications du Post-Office ; du fil galvanisé n° 11 ($3^{mm},17$), pour lignes téléphoniques, en bottes d'un seul bout pouvant attein-

dre 63,5 kilogrammes et du fil d'acier n° 15 (1^{mm},92) résistant à 125 kilogrammes par millimètre carré tout en pouvant s'enrouler sur un cylindre d'un diamètre double de celui du fil, pour les lignes téléphoniques des villes dont les supports doivent être très légers, et dont le fil doit pouvoir supporter une grande tension pour ne pas être exposé à se rompre et à tomber sur le sol des rues. Pour les armatures de câble, il importe d'avoir des fils de grande longueur d'un seul bout, afin de diminuer le nombre des soudures, et par suite le nombre des arrêts des machines à câbles et le nombre des points faibles dans le câble : une botte exposée de fil *best* galvanisé n° 00 (9^{mm},21) a un poids qui dépasse 90 kilogrammes.

La Whitecross wire and Iron Company (Warrington) fournit également des fils de fer au gouvernement anglais ; elle présente quelques spécimens de fils télégraphiques, de fils à ligature et de fils en fer homogène pour armatures de câbles. Des essais faits par le service télégraphique français sur des fils de cette Compagnie ont donné pour résultats :

DIAMÈTRE.	TRACTION de rupture par millim. car.	ALLONGEMENT pour 100.	PLIAGES à angle droit.	RÉSISTANCE ÉLECTRIQUE de 1000 mètres de fil de 4 millim. à 0° C.
4^{mm},4	45	10	9	9,12 ohms

Deux grandes maisons de fabrication de fils de fer et d'acier figurent dans la section belge. MM. A. Dawans et H. Orban (laminoirs et tréfileries de Renory, près Liège) offrent des échantillons de fils d'acier dont les diamètres varient de 12 millimètres à 0^{mm},13, de toutes les qualités depuis les aciers durs résistant à 90 kilogrammes par millimètre carré et ne s'allongeant que de 1 pour

100, jusqu'aux aciers les plus doux résistant à 35 kilogrammes par millimètre carré et s'allongeant de 21 pour 100. Le prix de ces fils est de 10 pour 100 supérieur à celui des fils de fer de mêmes dimensions. La maison a fourni une partie notable du fil d'acier galvanisé de 2 millimètres employé sur les réseaux de la *Bell Telephone Company.*

Les fils de fer et d'acier, pour lignes télégraphiques et téléphoniques, de la Société anonyme de Grivegnée (près Liège) comprennent des rouleaux de fils de 1 à 6 millimètres de diamètre, pesant de 14 à 60 kilogrammes. Ces fils forment trois catégories : 1° fils d'acier, clairs, durs, résistant à 55 kilogrammes par millimètre carré, sans allongement ; 2° fils de fer recuits, résistance 30 kilogrammes par millimètre carré, avec allongement de 2 à 3 pour 100 ; 3° fils de fer galvanisés résistant à 36 kilogrammes par millimètre carré, avec allongement de 2 à 3 pour 100. Des échantillons de fonte d'affinage et de fontes manganésifères miroitantes, ainsi que des billettes de fer fin grain et d'acier montrent les matières premières de ces fils.

Les ateliers de galvanisation de Jowa (Liège) ont envoyé des spécimens de leurs fils galvanisés et l'Administration des Télégraphes de l'État belge expose les fils de fer et d'acier galvanisés qu'elle emploie.

Le fer suédois est renommé par ses qualités mécaniques et sa conductibilité : on en trouve des échantillons dans la section suédoise, au nom de la Société anonyme de Lesjœfors.

Le Département des Télégraphes de Russie expose du fil d'acier depuis 2^{mm},25 jusqu'à 6 millimètres, fabriqué par Hobrecker, à Riga, et des fils télégraphiques de l'usine de Lvoff, à Saint-Pétersbourg.

Fil compound (acier et cuivre). — On a songé à utiliser les qualités respectives du cuivre et de l'acier en associant ces deux métaux dans la composition des conducteurs télégraphiques. Le premier fil *compound*, fabriqué en Amérique, était du fil d'acier recouvert de cuivre par la galvanoplastie. D'après M. Prescott, le *ohm-mile* du fil d'acier employé était de 6.383 livres, ce qui met à 1,31 la résistance électrique de cet acier par rapport au meilleur fer (dont le *ohm-mile* est de 4884) et à 1,16, cette résistance par rapport au fer ordinaire (celui dont le *ohm-mile* est de 5.500).

En désignant par A la résistance du fil d'acier, C celle de l'enveloppe de cuivre, R celle du fil composé, on a $R = \frac{AC}{A+C}$.

Cette relation permet, connaissant la résistance d'un fil d'acier, de trouver le poids du cuivre à ajouter pour que le fil composé ait une résistance donnée. Ainsi la résistance d'un fil d'acier étant de 33 ohms par kilomètre, si on veut que le fil composé ait une résistance de 9,32, la résistance du cuivre sera donnée par $C = \frac{AR}{A-R} = 13$.

Le poids du kilomètre de cuivre ayant un ohm de résistance étant de $152^{k},6$, le poids du cuivre pur à ajouter par kilomètre sera de $152,6 : 13 = 11^{k},74$.

Le fil composé se fabrique actuellement en enroulant un ruban de cuivre autour d'un fil d'acier étamé, passant le tout à la filière et soudant par immersion dans un bain d'étain. On a fabriqué en France du fil d'acier de $1^{mm},7$ recouvert d'une feuille de cuivre de $0^{mm},2$, pesant 29 kilogrammes par 1000 mètres ; il rompait sous une charge totale de 150 kilogrammes et avait une conductibilité un peu supérieure à celle du fil de fer galvanisé

de $3^{mm},5$. Ce fil, qui allie une grande ténacité à une conductibilité suffisante avec un poids faible, procurerait une économie notable dans le transport et une grande simplification dans la construction. Avec la même conductibilité, sous une section moindre, on diminuerait l'induction mutuelle des fils. Mais les expériences faites n'ont pas suffisamment prouvé que l'adhérence des deux métaux doive se maintenir.

MM. Siemens frères (Grande-Bretagne) ont envoyé quelques échantillons de fil d'acier recouvert d'un tube de cuivre bien adhérent; son poids est un tiers de celui du fil de fer de même résistance électrique. Les joints de ces fils s'effectuent à l'aide de manchons en cuivre que l'on remplit de soudure; ils présentent une grande analogie avec ceux en usage en France sur les lignes en fil de fer. On voit aussi du fil d'acier cuivré chez MM. Davans et Orban (Belgique).

Bronze phosphoreux. — En Belgique et en Italie, les compagnies téléphoniques font usage de fils en bronze phosphoreux dont M. Montefiore-Levi (fonderie et tréfilerie d'Anderlecht) expose plusieurs spécimens dans la section belge. Tandis que le cuivre rouge ne s'écrouit pas à la filière, possède peu d'élasticité et prend un allongement permanent sous de faibles charges, le bronze phosphoreux, par l'écrouissage, devient élastique, durcit et peut supporter des charges de 50 et même 100 kilogrammes par milimètre carré. Comme il est absolument inoxydable, on peut l'employer en fils très fins. Or, l'emploi de fils fins dans les lignes aériennes présente de nombreux avantages. On peut augmenter les portées et diminuer le nombre des appuis, augmenter le nombre des fils sur les mêmes appuis, sans que la charge soit trop considérable; les fils fins offrent peu de prise au

vent ou à la neige et il n'est pas nécessaire d'éteindre les vibrations par des sourdines ; enfin l'induction mutuelle est diminuée. Les réseaux téléphoniques de Bruxelles et de Gand sont construits, pour la plus grande partie, en fil de $0^{mm},8$ dont le kilomètre pèse environ $4^{kgs},500$: certaines portées atteignent 500 mètres et les chevalets placés au-dessus des maisons supportent jusqu'à 150 et 200 fils. L'élasticité de ces fils serait telle que, s'ils se brisent, les deux bouts sont ramenés aussitôt vers les supports voisins, sans descendre de plus de 4 mètres au-dessous de leur position primitive dans les plus grandes portées. Toutefois le maniement d'un fil aussi mince exige des ouvriers expérimentés, car le fil se brise facilement s'il se forme un nœud, et au moindre enchevêtrement le rouleau de fil est perdu. Aussi M. Montefiore-Levi recommande de préférence le fil de $1^{mm},25$ dont on fait surtout usage en Italie et qui pèse 10 à 11 kilogrammes par kilomètre.

Le prix du bronze phosphoreux étant d'environ 4 francs le kilogramme, le fil de $0^{mm},8$ revient à longueur égale au même prix que le fil d'acier de 2 millimètres; en tenant compte des économies dans la pose, M. Montefiore-Levi estime que le prix d'une ligne en fil de bronze de $1^{mm},25$ est encore inférieur à celui d'une ligne en fil d'acier de 2 millimètres.

On voit dans la vitrine de MM. Weiller et Montefiore-Levi (fonderie et tréfilerie d'Angoulême, France) 30 fils de $0^{mm},14$ supportant ensemble un poids de 45 kilogrammes, soit plus de 100 kilogrammes par millimètre carré et un fil, en un seul bout de 19.280 mètres, dépassant 110 kilogrammes par millimètre carré. Par le recuit, le bronze phosphoreux perd sa dureté et son élasticité et prend un grand allongement sous un faible

effort ; un spécimen exposé s'allonge de 0m,52 par mètre.

La conductibilité électrique du bronze phosphoreux est assez variable ; les fabricants paraissent jusqu'ici s'être surtout préoccupés de sa résistance à la rupture. Certains essais faits en Belgique et en Suisse mettent sa conductibilité à 1/5 de celle de cuivre, soit une résistance de 1,4 fois plus faible que celle du fer. Quelques essais faits à Paris à la température de 0° C. ont donné les résultats suivants :

DIAMÈTRE.	TRACTION de rupture par millimètre carré.	ALLONGEMENT pour 100.	PLIAGES à angle droit.	RÉSISTANCE électrique de 1000 mètres de fil de 1 millimètre.	RÉSISTANCE électrique de 1000 mètres de fil de fer de 1 millimètre.
millimèt.	kilogr.				
1,21	39,13	8	17	90,325	161,840
1,46	53,50	4,8	10	100,974	161,840
2,34	53,50	4	14	97,933	161,840
0,815	55,55	8,5	35	164,834	161,840

Le fil de bronze phosphoreux de MM. Felten Guilleaume (section allemande) aurait, d'après le fabricant, une résistance de 6,5 unités Siemens rapportée au fil de 4 millimètres et une traction à la rupture de 55 kilogrammes par millimètre carré.

Fils pour bobines de résistance. — L'alliage le plus généralement usité dans la construction des bobines de résistance est le maillechort ou argent allemand (4 cuivre, 2 nickel, 1 zinc), qui possède une grande permanence et dont la résistance électrique assez élevée (13 fois celle du cuivre) varie peu avec la température (10 fois moins que le cuivre).

M. Mouchel (France) présente un fil de maillechort de 0mm,02 d'une conductibilité de 6,51 p. 100 par rap-

port au cuivre pur et d'une résistance kilométrique de 779.433,5 ohms ; un autre de 0mm,08 d'une conductibilité de 4,77 pour 100 et d'une résistance kilométrique de 66.422,5 ohms. En introduisant de l'arsenic dans du cuivre rouge, le même fabricant a obtenu des alliages dont la conductibilité descend jusqu'à 3,66 pour 100 (avec 10 pour 100 d'arsenic) : un fil de 0mm,24 a alors une résistance kilométrique de 9.809 ohms.

Mme Bonis (France) fabrique un fil de platine de 1/40 de millimètre dont un centimètre a une résistance de 11,22 ohms et rougit avec un élément Leclanché.

(*A suivre.*) J. Raynaud.

CONFÉRENCES INTERNATIONALES

POUR LA

DÉTERMINATION DES UNITÉS ÉLECTRIQUE

ET LA PROTECTION DES CABLES.

Conformément au vœu exprimé par le congrès d'électricité de 1881, deux commissions internationales ont été chargées d'étudier les questions relatives :

1° A la fixation de l'unité absolue de résistance électrique, désignée sous le nom d'ohm;

2° A la détermination d'un étalon de lumière;

3° A l'étude systématique de l'électricité atmosphérique;

4° Aux moyens à adopter pour protéger les câbles sous-marins.

La première commission avait à s'occuper des trois premiers points indiqués par le congrès; quant au quatrième, il a été étudié par la seconde commission.

Ces deux commissions se sont réunies à Paris et ont tenu successivement leur première séance à l'hôtel du ministère des affaires étrangères, le 16 octoble 1882.

I

CONFÉRENCE POUR LA DÉTERMINATION DES UNITÉS ÉLECTRIQUES.

Les délégués qui ont pris part aux conférences sont :

Pour l'Allemagne :

MM. le Docteur WERNER SIEMENS, conseiller intime du gouvernement, à Berlin;
le Docteur WIEDEMANN, conseiller de cour, professeur à l'Université de Leipzig;

MM. le Docteur HELMHOLTZ, conseiller intime, à Berlin;
le Docteur KOHBRAUSCH, professeur, à Wurtzbourg;
LUDEWIG, conseiller intime des postes, à Berlin.

Pour l'Autriche-Hongrie :

MM. H. MILITZER, conseiller au ministère du commerce;
ISIDORE FRÖHLICH, professeur à l'Université de Buda-Pesth.

Pour la République Argentine :

M. le colonel MANSILLA.

Pour la Belgique :

MM. ROUSSEAU, professeur à l'Université de Bruxelles et à l'École militaire;
GÉRARD, sous-ingénieur des télégraphes, chargé de cours à l'Université de Liège;
VAN DEN MENSBRUGGHE, professeur à l'Université de Gand.

Pour la Chine :

MM. MACARTNEY, secrétaire de la légation de Chine à Paris;
TCHING-TCHANG, secrétaire de la légation de Chine à Paris.

Pour Costa-Rica :

M. LÉON SOMZÉE, premier secrétaire de la légation.

Pour le Danemark :

MM. LORENZ, professeur à l'École militaire de Copenhague;
le capitaine HOFFMEYER, directeur de l'Institut météorologique.

Pour l'Espagne :

MM. ADOLPHO J. MONTENEGRO, inspecteur des télégraphes;
JUSTO URANA Y VELASCO, directeur de section de 1re classe des télégraphes.

Pour les États-Unis d'Amérique :

MM. TROWBRIDGE, professeur à l'Université d'Horward;
H. A. ROWLAND, professeur à l'Université de John Hopkins.

Pour les États-Unis de Colombie ;

M. le Docteur TRIANA, consul général de Colombie à Paris.



Pour la France :

MM. COCHERY, ministre des postes et des télégraphes;

J.-B. DUMAS, secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences, membre de l'Académie française;

CLAVERY, ministre plénipotentiaire, directeur des affaires commerciales et consulaires au ministère des affaires étrangères;

ALLARD, inspecteur général des Ponts et Chaussées, directeur des phares ;

BERGON, directeur du matériel et de la *construction* au ministère des postes et des télégraphes ;

BLAVIER, inspecteur général des télégraphes, directeur de l'École supérieure de télégraphie;

MASCART, professeur au collège de France, directeur du bureau central météorologique.

Pour la Grande-Bretagne :

SIR WILLIAM THOMPSON, F. R. S., professeur à l'Université de Glascow;

M. le Docteur HOPKINSON, F. R. S.

Pour la Grèce :

M. TIMOLÉON ARGYROPOULO, professeur de physique à l'École militaire d'Athènes.

Pour le Guatemala :

M. CRISANTO MEDINA, ministre du Guatemala à Paris.

Pour l'Italie :

MM. JOSEPH PISATI, professeur de physique à l'École des ingénieurs à Rome;

le chevalier ANTOINE ROITI, professeur à l'Institut royal des études supérieures de Florence;

PIERRE TACCHINI, directeur du bureau central de météorologie à Rome;

GALILÉE FERRARIS, professeur au Musée industriel italien à Turin.

Pour le Japon :

M. HENRI BECQUEREL, répétiteur à l'École polytechnique.

Pour le Mexique :

M. F. DIAZ COVARRUBIAS, ingénieur-géographe.

Pour le Nicaragua :

M. BAILLE, répétiteur à l'École polytechnique.

Pour la Norvège :

M. BROCH, ancien ministre, professeur à l'Université de Christiania.

Pour les Pays-Bas :

M. le Docteur G. BOSSCHA, directeur de l'École polytechnique à Delft.

Pour le Portugal :

MM. D'AZEVEDO, chargé d'affaires à Paris ;
ÉDOUARD-ROBERT SILVA, répétiteur à l'École centrale des arts et manufactures de Paris.

Pour la République Dominicaine :

M. le baron D'ALMEDA, ministre de la République Dominicaine à Paris.

Pour la Roumanie :

MM. PHÉRÉKYDE, ministre de Roumanie à Paris ;
EMMANUEL BACALOGLO, professeur à la Faculté des sciences de Buchares.

Pour la Russie :

MM. le conseiller LENZ, professeur à l'Institut technologique de Saint-Pétersbourg ;
WILD, membre de l'académie des sciences de Saint-Pétersbourg.

Pour le Salvador :

MM. TORRES, CAÏCEDO, ministre du Salvador à Paris ;
JULES RAYNAUD, ingénieur des télégraphes.

Pour la Suède :

M. NYSTRÖM, chef de division à la direction royale des télégraphes.

Pour la Suisse :

M. Weber, professeur au Polytechnicum de Zurich.

Pour la Turquie :

M. Lacoine-Effendi, directeur du bureau technique de l'administration des télégraphes.

La conférence a été ouverte le 16 octobre, à deux heures, par M. le ministre des affaires étrangères qui a prononcé le discours suivant :

Messieurs,

C'est un grand honneur pour moi d'ouvrir les séances de cette conférence internationale où se rencontrent des savants illustres délégués par leurs gouvernements pour déterminer les conditions d'une entente sur les unités électriques. Je suis heureux de leur souhaiter la bienvenue au nom du gouvernement de la République et d'adresser nos remercîments aux gouvernements qui ont bien voulu les désigner.

La France s'intéresse vivement, messieurs, à l'œuvre que vous entreprenez en ce moment, et qui a pour objet de donner aux manifestations si diverses de la puissance électrique une mesure commune se rattachant au système métrique. Tel est, du moins, le point de départ que les remarquables recherches de l'Association britannique pour l'avancement des sciences et du congrès des électriciens ont donné à vos travaux. En complétant, en couronnant leur œuvre, en élucidant un problème qui touche aux parties les plus ardues et les plus délicates des sciences physiques, vous n'aurez pas seulement élargi le champ des connaissances humaines, vous aurez encore facilité les investigations des savants et préparé ainsi, pour l'avenir, quelques-unes de ces admirables découvertes qui contribuent si puissamment aux progrès de l'humanité.

Je ne saurais oublier cette autre partie de votre tâche, qui consiste à préciser les méthodes d'observation de l'électricité atmosphérique et à organiser l'étude systématique des courants terrestres sur les lignes télégraphiques. Bien des coins restent encore obscurs dans le mode de développement et d'action de cette force merveilleuse. Tracer, comme vous vous

proposez de le faire, les règles à suivre pour en mieux surprendre les secrets, c'est encore bien mériter de l'humanité, en la préparant à se servir plus utilement et avec moins de dangers de l'arme que la nature et la science ont mise entre ses mains.

Permettez-moi donc, messieurs, de vous redire en terminant combien nous nous sentons honorés de voir la capitale de la France choisie comme siège de vos savants et utiles travaux et quels vœux nous formons pour leur réussite.

Sur la proposition de M. Broch, la présidence a été déférée à M. Cochery, ministre des postes et télégraphes, qui, en prenant place au fauteuil, a exposé ainsi qu'il suit le but de la conférence :

Messieurs,

Je vous remercie de l'honneur que vous venez de me faire en m'appelant à diriger vos travaux ; vous pouvez être assurés que tous mes efforts tendront à justifier votre confiance.

Nous allons reprendre l'œuvre si heureusement commencée en 1881, par le congrès des électriciens; nous nous attacherons à la compléter pour arriver à des résolutions définitives.

Ce congrès de 1881 avait abordé hardiment les questions multiples que soulève la science de l'électricité. Il avait fait preuve de cette hauteur de vues, de cette sûreté de jugements qu'on devait attendre des hommes éminents que l'Europe et l'Amérique nous avaient envoyés.

Mais ce congrès n'avait ni le temps, ni les moyens matériels, ni les pouvoirs nécessaires pour trancher certaines questions. Il devait forcément les renvoyer à une conférence convoquée spécialement à cet effet.

C'est donc en réalité et exclusivement à ce congrès que revient l'honneur d'avoir pris l'initiative de la conférence actuelle. C'est lui, en effet, qui, dans la séance du 5 octobre 1881, a émis le vœu que le gouvernement français voulût bien inviter les autres puissances à constituer des commissions internationales chargées d'étudier les questions qui peuvent ainsi se résumer :

Déterminer pour les besoins de la pratique les conditions que devra remplir une certaine colonne de mercure pour de-

venir la représentation matérielle de l'unité de résistance électrique;

Déterminer un étalon définitif de lumière;

Arrêter les règles d'une étude universelle et systématique de l'électricité atmosphérique, du magnétisme terrestre, et étudier les moyens de rendre plus rapide et plus continu l'échange des observations météorologiques.

Cette mission, nous l'avons acceptée avec empressement.

Les diverses nations ont, de leur côté, adhéré sans hésitation à notre appel. Par leur unanimité, elles ont démontré combien les sentiments du congrès avaient répondu à un grand intérêt scientifique et industriel.

Les États d'Europe, tous sans exception, siégeront dans cette enceinte.

L'Amérique y figure par les délégués de plusieurs pays.

La Chine et le Japon y assistent.

Le choix des savants qui ont été désignés prouve le haut prix qu'attachent à nos travaux les puissances qui veulent bien y prendre part. Nous sommes heureux de leur en témoigner notre sincère gratitude.

Ces travaux, quelques mots suffisent pour les préciser.

Le congrès de 1881 a défini scientifiquement les unités électriques, il leur a donné les noms des illustres savants qui ont découvert les phénomènes à la mesure desquels elles devaient être appliquées. Mais si les bases du système étaient posées, il restait à déterminer la représentation matérielle des unités, à construire le prototype, à rechercher les mesures à prendre pour en assurer la conservation et la reproduction. C'est ce soin qu'il vous a légué en exprimant le désir qu'une convention internationale nous donne un système uniforme et complet.

Il vous appartient, messieurs, d'arrêter les méthodes scientifiques et les procédés expérimentaux qui permettront de fixer les dimensions géométriques de cette colonne de mercure qui, sous le nom de *ohm*, fournira l'étalon-type des mesures électriques.

Ce résultat, vous l'obtiendrez et ainsi vous faciliterez les études électriques et vous donnerez à l'industrie le contrôle uniforme dont elle a besoin.

Ce qu'a fait avec tant de succès la conférence du mètre, vous

le ferez dans un ordre d'idées dont l'importance est déjà grande et grandira de jour en jour par les conquêtes que promet l'électricité.

Les aspects variés sous lesquels se présente l'éclairage électrique ont fait sentir le besoin d'arrêter un étalon définitif de lumière et de préciser les dispositions à observer dans les expériences de comparaison. Vous aurez à déterminer cet étalon.

Vos études devront également porter sur le magnétisme terrestre, sur l'électricité atmosphérique. Vous chercherez à organiser une étude systématique des grands phénomènes dont le globe est le merveilleux théâtre. Les procédés d'observation devront être uniformisés.

Les lignes télégraphiques dont le vaste réseau enveloppe le monde constituent les organes d'un immense observatoire électrique, magnétique et météorologique susceptible de fournir les indications les plus précieuses. Nos administrations d'État vous donneront leur concours, en le subordonnant bien entendu aux nécessités impérieuses de l'exploitation.

Vous aurez à rechercher l'importance de ce concours et à nous soumettre vos demandes qui seront, vous pouvez en être assurés, appréciées avec la largeur d'esprit qui doit caractériser les administrations d'État.

La protection des édifices contre les effets de la foudre a été, au sein du congrès, l'objet d'une discussion d'un intérêt saisissant. Plusieurs systèmes se sont produits. En pareille matière, l'expérience est le plus sûr enseignement. Vous aurez à voir si une statistique peut être établie et en quelle forme. Une statistique analogue vous dirait également si la multiplicité des conducteurs télégraphiques, en ouvrant des routes à la foudre, n'offre pas accidentellement des dangers. L'expérience semble avoir prouvé le contraire. Votre arrêt tranchera la question et dissipera bien des craintes.

Le congrès avait séparé ces questions. Nous avons cru devoir soumettre leur ensemble à une conférence unique. Vous pourrez vous fractionner en trois commissions, correspondant aux conditions indiquées par le congrès et qui soumettront le résultat de leurs travaux à la conférence plénière.

L'administration française se fera un devoir et un honneur

de mettre à votre disposition tous les moyens d'action dont elle dispose et qui pourront vous être nécessaires.

Nous ne vous avons pas tracé de programme. Il eût été présomptueux de notre part de le faire. Il vous appartient d'agir dans la plénitude de votre délégation.

Le but proposé à la conférence impose une tâche difficile, mais son utilité est si grande, le succès serait tellement fécond que nous ne doutons pas que vous ne trouviez dans votre science et dans votre dévouement le moyen de l'atteindre.

Sur la proposition de M. le Président, la conférence a confié les fonctions de secrétaire à MM. René Lavollée, consul général de France, et Henri Becquerel, répétiteur à l'École polytechnique, délégué du Japon ; et celles de secrétaires adjoints à MM. d'Anglade, consul suppléant, Vaschy et Thévenin, sous-ingénieurs des télégraphes.

La conférence s'est divisée en trois commissions chargées d'étudier spécialement :

La première : les unités électriques proprement dites ;

La seconde : les courants électriques à la surface de la terre et l'action des paratonnerres ;

La troisième : la détermination d'un étalon de lumière.

M. Dumas a été nommé président de la première commission, M. Wild, président de la seconde et M. Broch, président de la troisième.

Les commissions se sont réunies tous les jours du 16 au 25 octobre, et le 26 a eu lieu, sous la présidence de M. le Ministre des postes et télégraphes une séance plénière dans laquelle ont été lus les rapports des trois commissions qui ont été adoptés à l'unanimité.

1° Rapport de la commission des unités électriques présenté par M. Dumas.

Messieurs,

La commission que vous avez chargée d'étudier les méthodes propres à la détermination des unités électriques vient vous soumettre les résolutions qu'elle a cru devoir proposer à votre adoption.

Elle en avait renvoyé l'examen à une sous-commission à laquelle était réservée la bonne fortune d'entendre les savants les plus éminents, tels que MM. Helmholtz et sir William Thomson, développer leurs vues élevées au sujet des méthodes employées ou proposées jusqu'ici, et sur la question considérée dans toute sa généralité; M. Lorenz exposer, de son côté, la belle méthode qu'il a imaginée; MM. Bosscha, Kohlrauch, Mascart, Roiti, Siemens, Fr. Weber, Wiedemann et Wild apporter tour à tour à la discussion le précieux concours d'une expérience acquise par une longue pratique des phénomènes électriques et d'une érudition profonde embrassant tous les éléments qu'ils concernent.

Après avoir discuté la valeur de chaque méthode et après avoir étudié minutieusement les points faibles qu'elles présentent, ainsi que les moyens d'y remédier, la sous-commission a proposé à la commission, qui les a acceptées, les résolutions suivantes que nous avons l'honneur de soumettre à votre approbation :

PREMIÈRE RÉSOLUTION.

« *La commission considère que les déterminations faites jusqu'à présent n'offrent pas encore le degré de concordance qui serait nécessaire pour fixer la valeur numérique de l'ohm en colonne mercurielle.*

« *Elle estime donc qu'il y a lieu de poursuivre les recherches.*

« *Sans pouvoir émettre un avis motivé sur les méthodes diverses qui n'ont pas encore reçu la consécration de l'expérience, elle considère les suivantes comme particulièrement propres à donner des résultats très exacts :*

« 1° *Induction d'un courant sur un circuit fermé* (*Kirchhoff*);

« 2° *Induction par la terre* (*W. Weber*);

« 3° *Amortissement des aimants mobiles* (*W. Weber*);

« 4° *Appareil de l'Association britannique;*

« 5° *Méthodes de M. Lorenz.*

« *D'autre part, il est à désirer qu'on détermine de nouveau la quantité de chaleur dégagée par un courant d'intensité connue, cette expérience ayant pour but soit de contrôler la valeur de l'ohm, soit de fixer plus exactement l'équivalent mécanique de la chaleur.* »

Malgré les précautions prises par les observateurs, les résultats obtenus dans les divers pays, qui devraient tous conduire à un nombre unique, présentent encore des divergences notables.

On a pensé que ces écarts ne tenaient peut-être pas uniquement aux méthodes elles-mêmes, mais à des différences entre les étalons qui ont servi à faire les comparaisons ou à des perturbations locales.

Sur la proposition de M. Helmholtz, la sous-commission et ensuite la commission ont émis l'avis qu'il conviendrait de faire circuler dans les laboratoires des divers pays un ou plusieurs étalons de comparaison soigneusement contrôlés au départ et à l'arrivée. Ces étalons seraient soumis, dans les divers pays, à des épreuves expérimentales variées; on déterminerait leur résistance électrique, et si alors les mêmes discordances persistaient dans les diverses mesures relatives au même étalon, le désaccord ne serait imputable qu'aux méthodes elles-mêmes ou aux conditions locales dans lesquelles se font les expériences. Les divergences ainsi obtenues fourniraient les termes de correction dont il conviendra d'affecter les mesures faites dans chaque laboratoire. Dans la pensée de la commission, ces étalons devraient être solides et aussi inaltérables que possible.

La commission vous propose donc la résolution suivante :

DEUXIÈME RÉSOLUTION.

« *La conférence exprime le vœu que le gouvernement français prenne les mesures nécessaires pour qu'un même étalon ou plusieurs étalons de résistance soient mis à la disposition des savants qui s'occupent des recherches absolues, afin de rendre les comparaisons plus faciles.* »

Grâce au moyen de contrôle que nous vous demandons, il est permis d'espérer que les nouveaux résultats différeront très peu les uns des autres, et que l'on sera prochainement en mesure de compter sur une grande approximation dans la détermination de l'unité pratique de résistance.

Cependant les méthodes se perfectionnent de jour en jour, et la science expérimentale devient progressivement plus exi-

geante pour la précision des résultats. Il est très probable que les mesures effectuées maintenant ne répondront plus, dans quelques années, à l'exactitude qu'il sera possible d'atteindre alors.

La commission a pensé que, tout en laissant la liberté la plus complète au développement des recherches scientifiques exactes, il était nécessaire de donner, le plus tôt possible, satisfaction aux intérêts industriels, en fixant comme étalon pratique une valeur suffisamment approchée de l'unité théorique.

« *La commission est d'avis qu'au moment où les résultats des diverses recherches présenteront une concordance permettant de répondre à l'approximation d'un millième, il conviendra de s'arrêter à cette approximation pour fixer la valeur de l'étalon pratique de résistance.* »

En terminant, la commission a exprimé le vœu :

« *Que le gouvernement français veuille bien transmettre aux gouvernements représentés à la conférence un vœu tendant à ce que chacun d'eux, en considération de l'importance d'une solution pratique et de son urgence, prenne les mesures nécessaires pour favoriser les recherches de ses nationaux relatives à la détermination des unités électriques.* »

2° Rapport de la commission des courants électriques et des paratonnerres présenté par M. Wild.

Messieurs,

En ma qualité de président de la seconde commission, j'ai l'honneur de soumettre à l'assemblée générale le rapport suivant des travaux de cette commission :

La deuxième commission avait à traiter quatre différentes questions qu'elle a examinées et discutées successivement dans trois séances.

Voici ces questions et les résultats auxquels ont mené les discussions :

« 1° *Préciser les méthodes d'observations pour l'électricité atmosphérique, afin d'en généraliser l'étude à la surface du globe.* »

Après avoir constaté que les observations de l'électricité

atmosphérique à différents endroits pourraient donner des résultats certains et comparables entre eux, en y observant les prescriptions indiquées par sir William Thomson et en rendant les observations continues, *la commission a résolu de recommander aux gouvernements les observations régulières et continues de l'électricité atmosphérique et de leur demander d'étendre l'étude détaillée des orages à tous les pays.*

« 2° *Réunir les éléments statistiques relatifs à l'efficacité des paratonnerres des divers systèmes et à l'action préservatrice ou nuisible des réseaux télégraphiques et téléphoniques.* »

La commission a constaté que les données nécessaires pour une telle statistique n'existent presque nulle part, et elle a en conséquence, pour pouvoir en disposer à l'avenir, élaboré deux questionnaires, l'un pour les coups de foudre sur les lignes télégraphiques et téléphoniques ou dans les habitations reliées aux fils, et l'autre pour les coups de foudre en dehors de ces lignes. *Elle recommande de communiquer ces questionnaires aux gouvernements, afin d'attirer leur attention sur ce sujet et d'obtenir ainsi des renseignements assez complets et uniformes pour la comparaison des effets observés dans les différents pays.*

En connexion avec cette question, la commission a décidé d'émettre *le vœu que les paratonnerres soient partout soumis à une vérification périodique.*

« 3° *Organiser l'étude systématique des courants terrestres sur les lignes télégraphiques ou du moins les observations de ces courants aux jours* termes *spécifiés par la commission polaire internationale à l'époque de ses expéditions (le 1er et le 15 de chaque mois).*

Pour étendre les observations des courants terrestres, qui, dans plusieurs pays, ont déjà commencé, sur l'invitation de la commission polaire internationale, et pour les rendre plus continues, la commission a pris les trois résolutions suivantes :

« a. *La commission émet le vœu que certaines lignes, même de petite longueur, indépendantes du réseau télégraphique général dans chaque pays, soient consacrées, d'une manière exclusive, à l'étude des courants terrestres.*

« b. *En outre, la commission émet le vœu que les gr ndes*

lignes, particulièrement les lignes souterraines, soient utilisées, le plus fréquemment possible, pour des recherches de même nature, ces lignes étant dirigées de préférence du sud au nord et de l'est à l'ouest, et l'observation ayant lieu le même jour, par exemple les dimanches, dans les différents pays.

« c. *Pour l'année courante — septembre* 1882 *jusqu'en septembre* 1883 *— en particulier, la commission recommande que des observations régulières soient faites aux jours termes déterminés pour les expéditions polaires internationales (le* 1er *et le* 15 *de chaque mois, excepté le mois de janvier dont le* 2e *jour au lieu du* 1er *doit être considéré comme jour terme).*

« 4° *Étudier les meilleures conditions d'établissement d'un réseau télémétéorographique international, permettant aux différentes stations de communiquer entre elles sans cesse, pour obtenir ainsi, d'une manière continue, l'état météorologique du plus grand nombre possible de points utiles.* »

Concernant cette question, la commission a pris la résolution suivante : *Le moment ne paraît pas venu de donner suite au projet d'établissement d'un réseau télémétéorographique international. Mais, en attendant, la commission s'est montrée extrêmement favorable à toutes les mesures qui pourront faciliter le développement des dépêches météorologiques et améliorer le service de la prévision du temps.* »

3° Rapport de la commission de l'étalon de lumière.

La troisième commission avait à se prononcer sur un étalon prototype de lumière et sur les dispositions à observer dans l'exécution des expériences de comparaison.

La commission n'est pas arrivée à une solution définitive de cette question ; mais elle a pris, pour restreindre les limites des recherches à faire encore, des résolutions suivantes :

« *La conférence, reconnaissant que les recherches faites jusqu'à présent donnent lieu d'espérer que la lumière émise par le platine fondant pourra conduire à un étalon absolu, émet le vœu que ces expériences soient poursuivies.*

« *Comme étalon secondaire usuel, la conférence recommande l'emploi de la lampe Carcel, système de la vérification du gaz*

dû à MM. Dumas et Regnault ou d'une lampe équivalente employée avec les mêmes soins.

« *Les bougies peuvent servir également, si l'on prend assez de soin pour assurer l'identité de composition, de forme, de construction et de consommation.*

« *Pour les expériences de précision et pour certaines applications, telles que les phares, la comparaison des lumières doit être faite par une analyse des différents éléments qui les constituent.*

« *La conférence réitère la décision du congrès de 1881, en vertu de laquelle toute détermination d'un foyer électrique et, en général, de tout foyer qui rayonne différemment dans les différentes directions doit comprendre, comme élément essentiel, la formule de ce foyer, c'est-à-dire la relation qui existe entre l'intensité lumineuse et la direction des rayons.* »

Ainsi que nous l'avons dit, les conclusions de ces trois rapports ont été approuvées à l'unanimité, dans la séance du 26 octobre 1882.

La conférence ayant épuisé son ordre du jour, M. le président a prononcé l'allocution suivante :

Messieurs,

Dans quelques instants je vais prononcer, non pas la clôture, mais l'ajournement de la conférence.

Nous avons atteint notre but.

Quand le congrès de 1881 prenait l'initiative de convoquer cette conférence, les membres de ce congrès savaient parfaitement qu'on ne pourrait, en quelques séances, arriver à une solution définitive.

Quand, obéissant au désir du congrès, nous avons convoqué la conférence, nous étions également bien convaincus qu'elle aurait besoin de plusieurs sessions.

Vous avez complètement répondu à nos espérances.

Vous les avez dépassées.

Votre première commission a posé les bases des travaux à effectuer pour la détermination de l'unité de résistance; elle a recommandé les méthodes qui vous ont paru présenter la plus grande précision; elle a également arrêté de contrôler l'un par l'autre les travaux exécutés dans les divers pays.

Votre seconde commission, après s'être occupée de l'étude de l'électricité atmosphérique et des orages, demande aux administrations télégraphiques de lui fournir leur concours pour l'étude des phénomènes terrestres. Elle a rédigé deux questionnaires pour constater :

Les coups de foudre en dehors des lignes télégraphiques;

Les coups de foudre sur les lignes télégraphiques ou téléphoniques.

Enfin, la troisième commission, chargée de déterminer un étalon définitif de lumière, a reconnu que les recherches effectuées jusqu'à ce jour font espérer que la lumière émise par le platine fondant pourra conduire à un étalon absolu : elle a demandé que les expériences fussent poursuivies.

La conférence vient à l'instant d'approuver toutes ces propositions et résolutions. Elle a bien voulu charger le gouvernement français d'en poursuivre la réalisation auprès des divers gouvernements, en leur en montrant l'utilité, l'importance et l'urgence.

Je n'ai pas besoin de vous dire que nous nous acquitterons de cette mission avec zèle et empressement.

Une solution est actuellement certaine.

La science et l'industrie la devront à vos lumineuses discussions et à votre ardent dévouement au progrès.

En leur nom, je vous adresse de vifs remerciements.

Je tiens également à vous témoigner toute ma gratitude pour les bonnes et sympathiques relations qui se sont établies entre nous. J'en garderai un profond souvenir.

Et maintenant je vous demande la permission de vous ajourner à l'année prochaine.

Cette proposition a obtenu l'assentiment unanime et la conférence a décidé qu'elle se réunira de nouveau, à Paris, le premier lundi du mois d'octobre 1883.

II

CONFÉRENCE POUR LA PROTECTION DES CABLES SOUS-MARIN.

Les délégués des divers États étaient :

Pour l'Allemagne :

MM. le Docteur DAMBACH, conseiller intime supérieur des postes;
DONNER, capitaine de vaisseau en non-activité, conseiller impérial du gouvernement.

Pour la République Argentine :

M. le colonel LUCIO VICTORIO MANSILLA, agent militaire de la République Argentine à Paris.

Pour l'Autriche-Hongrie :

M. le colonel DE BONN, attaché militaire à l'ambassade d'Autriche-Hongrie à Paris.

Pour la Belgique :

MM. LÉOPOLD ORBAN, ministre plénipotentiaire, directeur des affaires politiques au ministère des affaires étrangères de Belgique :
MICHEL, inspecteur général de la marine.

Pour le Brésil :

M. le vicomte DE NIOAC, ancien officier de marine.

Pour la Chine :

MM. MACARTNEY, secrétaire de la légation de Chine à Paris;
TCHING-TCHANG, secrétaire de la légation de Chine à Paris.

Pour Costa-Rica :

M. SOMZÉE, premier secrétaire de la légation de Costa-Rica à Paris.

Pour le Danemark :

MM. le comte DE KNUTH, chargé d'affaires du Danemark à Paris;
WANDEL, capitaine de frégate.

Pour la République Dominicaine :

M. le baron D'ALMEDA, ministre de la République Dominicaine à Paris.

Pour l'Espagne :

Don JUAN RAVINA Y CASTRO, directeur de section de 1re classe du corps des télégraphes;

Don Lucas Mariano de Tornos y Matamoros, directeur de section de 1re classe du corps des télégraphes.

Pour les États-Unis de l'Amérique du Nord :

MM. Morton, ministre des États-Unis à Paris;
Vignaud, secrétaire de la légation.

Pour les États-Unis de Colombie :

M. le Docteur Triana, consul général de Colombie à Paris.

Pour la France :

M. Ad. Cochery, ministre des postes et télégraphes; assisté de :

MM. J.-B. Dumas, secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences, membre de l'Académie française ;
Clavery, ministre plénipotentiaire, directeur des affaires commerciales et consulaires au ministère des affaires étrangères;
Bergon, directeur du matériel et de la construction au ministère des postes et télégraphes;
Louis Renault, professeur à la Faculté de droit de Paris;
Félix Dupont, capitaine de frégate, aide de camp de M. le ministre de la marine.

Pour la Grande-Bretagne :

MM. C. Kennedy, C. B., directeur du service commercial au *Foreign-Office ;*
C. Trevor, secrétaire adjoint du *Board of Trade ;*
C. H. B. Patey, troisième secrétaire du *Post office;* assistés de M. H. Farnall, attaché au *Foreign-Office.*

Pour la Grèce :

MM. le prince Mavrocordato, ministre de Grèce à Paris;
Timoléon Argyropoulo, professeur de physique à l'École militaire d'Athènes.

Pour le Guatémala :

M. Crisanto Medina, ministre du Guatémala à Paris.

Pour les Indes britanniques :

M. le lieutenant-colonel J. U. BATEMAN CHAMPAIN, R. E., directeur en chef du département du télégraphe indo-européen.

Pour l'Italie :

MM. AVARNA DI GUALTIERI, premier secrétaire de l'ambassade d'Italie à Paris;

FEDELE SALVATORI, inspecteur général des télégraphes d'Italie.

Pour le Japon :

M. F. MARSHALL, conseiller de la légation du Japon à Paris.

Pour le Mexique :

MM. VELASCO, ministre du Mexique à Paris;

F. DIAZ COVARRUBIAS, ingénieur-géographe.

Pour le Nicaragua :

M. BAILLE, répétiteur à l'École polytechnique.

pour la Norvège :

M. NIELSEN, directeur général des télégraphes de Norvège.

Pour les Pays-Bas :

MM. JANSEN, capitaine de vaisseau en retraite, membre du conseil d'État des Pays-Bas;

ASSER, professeur à l'Université d'Amsterdam, conseiller du département des affaires étrangères des Pays-Bas.

Pour le Portugal :

MM. D'AZEVEDO, chargé d'affaires du Portugal à Paris;

ROBERT-ÉDOUARD SILVA, chef des travaux de l'analyse chimique à l'École centrale des arts et manufactures de Paris.

Pour la Roumanie :

MM. PHÉRÉKYDE, ministre de Roumanie à Paris;

EMMANUEL BACALOGLOU, professeur de physique à la Faculté des sciences de Bucharest.

Pour la Russie :

M. le vice-amiral LIKHATCHOF.

Pour le Salvador :

MM. TORRÈS CAÏCEDO, ministre du Salvador à Paris;
RAYNAUD, ingénieur des télégraphes.

Pour la Serbie :

M. MARINOVITCH, ministre de Serbie à Paris.

Pour la Suède :

M. NYSTROM, chef de division à la direction royale des télégraphes.

Pour la Suisse :

M. KERN, ministre de Suisse à Paris.

Pour la Turquie :

MISSAK-EFFENDI, premier secrétaire de l'ambassade ottomane à Paris.

Pour l'Uruguay :

M. le colonel DIAZ, chargé d'affaires de l'Uruguay à Paris.

Pour le Bureau international télégraphique de Berne :

M. CURCHOD, directeur du Bureau.

La conférence a été ouverte le 16 octobre, à trois heures, par M. le ministre des affaires étrangères, puis, sur la proposition de M. Kern, ministre de Suisse, la présidence a été déférée à M. le ministre des postes et télégraphes qui, en prenant possession du fauteuil, a fait un résumé historique de la question et a appelé l'attention de l'assemblée sur son importance.

Sur la proposition de M. le président, les fonctions de secrétaires ont été confiées à MM. René Lavollée, consul général de France, et Eschbaecher, chef de bureau au ministère des postes et des télégraphes; et celles de secrétaires adjoints à MM. P. Carteron, sous-chef au ministère des affaires étrangères, André de Joly, sous-chef de cabinet du ministre des postes et des télégraphes, et J. Depelley, rédacteur au ministère des postes et des télégraphes.

La conférence s'est réunie régulièrement, du 16 octobre au 2 novembre, et a adopté le projet de convention suivant, qui doit être soumis aux divers gouvernements :

ARTICLE PREMIER.

La présente Convention s'applique, en dehors des eaux territoriales, à tous les câbles sous-marins légalement établis et qui atterrissent sur les territoires ou les possessions de l'une ou de plusieurs des Hautes Parties contractantes.

ART. 2.

La rupture ou la détérioration d'un câble sous-marin, faite volontairement ou par négligence coupable, et qui pourrait avoir pour résultat d'interrompre ou d'entraver, en tout ou en partie, les communications télégraphiques est punissable, sans préjudice de l'action civile en dommages et intérêts.

Cette disposition ne s'applique pas aux ruptures ou détériorations dont les auteurs n'auraient eu que le but légitime de protéger leur vie ou la sécurité de leurs bâtiments, après avoir pris toutes les précautions nécessaires pour éviter ces ruptures ou détériorations.

ART. 3.

Les Hautes Parties contractantes s'engagent à imposer, autant que possible, quand elles autoriseront l'atterrissement d'un câble sous-marin, les conditions de sûreté convenables, tant sous le rapport du tracé que sous celui des dimensions du câble.

ART. 4.

Le propriétaire d'un càble qui, par la pose ou la réparation de ce câble, cause la rupture ou la détérioration d'un autre câble, doit supporter les frais de réparation que cette rupture ou cette détérioration aura rendus nécessaires, sans préjudice, s'il y a lieu, de l'application de l'article 2 de la présente Convention.

ART. 5.

Les bâtiments occupés à la pose ou à la réparation des câbles sous-marins doivent observer les règles sur les signaux qui sont ou seront adoptées, d'un commun accord, par les Hautes Parties contractantes, en vue de prévenir les abordages.

Quand un bâtiment occupé à la réparation d'un câble a fait lesdits signaux, les autres bâtiments qui aperçoivent ou sont en mesure d'apercevoir ces signaux doivent ou se retirer, ou se tenir éloignés d'un mille nautique au moins de ce bâtiment, pour ne pas le gêner dans ses opérations.

Les engins ou filets des pêcheurs devront être tenus à la même distance.

Le bâtiment auquel un navire télégraphique aura fait lesdits signaux aura, pour se conformer à l'avertissement ainsi donné, un délai de vingt-quatre heures au plus, pendant lequel aucun obstacle ne devra être apporté à ses manœuvres.

Les opérations du navire télégraphique devront être achevées dans le plus bref délai possible.

Art. 6.

Les bâtiments qui voient ou sont en mesure de voir les bouées destinées à indiquer la position des câbles, en cas de pose, de dérangement ou de rupture, doivent se tenir éloignés de ces bouées à un quart de mille nautique au moins.

Les engins ou filets des pêcheurs devront être tenus à la même distance.

Art. 7.

Les propriétaires des navires ou bâtiments qui peuvent prouver qu'ils ont sacrifié une ancre, un filet ou un autre engin de pêche pour ne pas endommager un câble sous-marin, doivent être indemnisés par le propriétaire du câble.

Pour avoir droit à une telle indemnité, il faut autant que possible, qu'aussitôt après l'accident, on ait dressé, pour le constater, un procès-verbal appuyé des témoignages des gens de l'équipage, et que le capitaine du navire fasse, dans les vingt-quatre heures de son arrivée au premier port de retour ou de relâche, sa déclaration aux autorités compétentes. Celles-ci en donnent avis aux autorités consulaires de la nation du propriétaire du câble.

Art. 8.

Les tribunaux compétents pour connaître des infractions à la présente Convention sont ceux du pays auquel appartient le bâtiment à bord duquel l'infraction a été commise.

Il est, d'ailleurs, entendu que, dans les cas où la disposi-

tion insérée dans le précédent alinéa ne pourrait pas recevoir d'exécution, la répression des infractions à la présente Convention aurait lieu dans chacun des États contractants à l'égard de ses nationaux, conformément aux règles générales de compétence pénale résultant des lois particulières de cet État ou des traités internationaux.

ART. 9.

La poursuite des délits et contraventions prévus dans la présente Convention aura lieu par l'État ou en son nom.

ART. 10.

Les infractions à la présente Convention pourront être constatées par tous moyens de preuve admis dans la législation du pays où siège le tribunal saisi. En outre, des procès-verbaux pourront être dressés par les officiers commandant les bâtiments de guerre ou les bâtiments spécialement commissionnés à cet effet de l'une des Hautes Parties contractantes, quelle que soit la nationalité du bâtiment où se commet l'infraction.

Ces procès-verbaux seront dressés suivant les formes et dans la langue en usage dans le pays auquel appartient l'officier qui les dresse et auront, dans le pays où ils seront invoqués, la même force que s'ils émanaient des officiers nationaux de ce pays.

ART. 11.

La procédure et le jugement des contraventions aux dispositions de la présente Convention ont toujours lieu aussi sommairement que les lois et règlements en vigueur le permettent.

ART. 12.

Les Hautes Parties contractantes s'engagent à prendre ou à proposer à leurs législatures respectives les mesures nécessaires pour assurer l'exécution de la présente Convention, et notamment pour faire punir soit de l'emprisonnement, soit de l'amende, soit de ces deux peines, ceux qui contreviendraient aux dispositions des articles 2, 5 et 6.

ART. 13.

Les Hautes Parties contractantes se communiqueront les lois qui auraient déjà été rendues ou qui viendraient à l'être

dans leurs États, relativement à l'objet de la présente Convention.

ART. 14.

Les États qui n'ont point pris part à la présente Convention sont admis à y adhérer, sur leur demande. Cette adhésion sera notifiée par la voie diplomatique au Gouvernement de la République française, et par celui-ci aux Gouvernements signataires.

ART. 15.

La présente Convention sera mise à exécution à partir du jour dont les Hautes Parties contractantes conviendront.

Elle restera en vigueur pendant cinq années à dater de ce jour, et, dans le cas où aucune des Hautes Parties contractantes n'aurait notifié, douze mois avant l'expiration de ladite période de cinq années, son intention d'en faire cesser les effets, elle continuera à rester en vigueur une année, et ainsi de suite d'année en année.

Dans le cas où l'une des Puissances signataires dénoncerait la Convention, cette dénonciation n'aurait d'effet qu'à son égard.

ART. 16.

La présente Convention sera ratifiée et les ratifications seront échangées à Paris, dans le plus bref délai possible.

VŒUX.

La Conférence émet le vœu que les Puissances s'entendent, le plus tôt possible, pour l'adoption des signaux que devraient faire les bâtiments employés soit à la pose, soit à la réparation des câbles sous-marins, de manière à ne laisser aucun doute sur la nature de leurs opérations.

La Conférence émet, en outre, le vœu que les divers Gouvernements prennent des mesures pour que la direction des câbles sous-marins soit indiquée par des balises placées sur les côtes et pour qu'à la suite d'une entente internationale, un type uniforme de balise et de bouée soit adopté pour le service télégraphique sous-marin.

REVUE

DES

DIVERSES MÉTHODES DE DÉTERMINATION DE L'OHM.

UNITÉS ABSOLUES.

1. *Unités fondamentales.* — Les grandeurs géométriques et mécaniques, ainsi que la plupart des grandeurs physiques, peuvent être rapportées à un petit nombre d'unités choisies arbitrairement qu'on nomme *unités fondamentales.* Ce système a l'avantage, sur celui qui consiste à fixer pour chaque espèce de grandeur une unité arbitraire, de supprimer les coefficients parasites, et, par suite, de simplifier les calculs, de réunir en un seul faisceau toutes les grandeurs qui ont des rapports communs, enfin de contribuer à l'avancement de la science universelle en mettant en évidence des relations entre des phénomènes qui, au premier abord, paraissaion étrangers les uns aux autres.

Les unités qni dérivent des unités fondamentales sont dites *unités absolues.* C'est la Convention nationale qui a posé les premiers principes du système absolu à la fin du siècle dernier; il a été appliqué par MM. Gauss et Weber dans leurs travaux sur le magnétisme et l'électricité, a été adopté par la commission de l'Association britannique pour l'avancement des sciences, chargée, en 1862, de fixer l'unité de mesure électrique, puis généralisé et complété par une commission spéciale de la société de

physique de Londres; il a enfin été admis comme base des mesures électriques par le congrès international des électriciens de Paris (1881).

2. Le nombre des unités fondamentales a été fixé à trois : l'unité de longueur (L), l'unité de masse (M) et l'unité de temps (T).

Toutes les autres unités dérivent des unités fondamentales auxquelles elles sont liées chacune par une relation qu'il est nécessaire de connaître pour déterminer le changement que subirait le nombre qui représente une grandeur quelconque, si l'on modifiait les unités fondamentales. Cette relation constitue les *dimensions* de l'unité dérivée.

Ainsi, supposons que les dimensions de l'unité d'une grandeur quelconque soient ($L^p M^q T^r$) et que dans le système L, M, T une quantité, A, soit représentée par le nombre m, on aura :

$$(A = mL^p M^q T^r)$$

Si l'on adopte d'autres unités fondamentales L_1 M_1 T_1, le nombre x qui représentera la même grandeur A sera donné par la relation :

$$A = x\,(L_1^p\,M_1^q\,T_1^r)\,;$$

en égalant les deux valeurs de A, on aura pour le nombre x :

$$x = m\left(\frac{L}{L_1}\right)^p \left(\frac{M}{M_1}\right)^q \left(\frac{T}{T_1}\right)^r$$

Il suffit donc, pour passer d'un système à l'autre, de connaître le rapport des unités fondamentales $\frac{L}{L_1}$, $\frac{M}{M_1}$ et $\frac{T}{T_1}$.

3. Comme unités fondamentales, le congrès de Paris a adopté, ainsi que l'avait fait la société de physique de

Londres : pour l'unité de longueur (L), le centimètre ; pour unité de masse (M), celle du gramme ou du centimètre cube d'eau distillée au maximum de densité ; pour unité de temps (T), la seconde.

Le centimètre a été préféré au mètre, comme étant le côté du cube dont dérive l'unité de masse. Il en résulte que la densité d'un corps est le poids du centimètre cube ou de l'unité de volume de ce corps.

Les unités qui sont fondées sur ces trois unités fondamentales sont dites unités centimètre, gramme, seconde ou unités C. G. S.

Nous allons passer en revue les principales unités géométriques, mécaniques et magnétiques qui servent de point de départ à l'étude des phénomènes électriques.

Unités géométriques et mécaniques.

4. *Unité de surface et de volume.* — L'unité de surface est la surface du carré dont le côté est égal à l'unité de longueur. Ses dimensions sont (L^2).

L'unité de volume est le volume du cube ayant pour côté l'unité de longueur ; elle a pour dimension (L^3).

Dans le système C. G. S, les unités de surface et de volume sont le centimètre carré et le centimètre cube.

5. *Unité de vitesse.* — La vitesse d'un point ou d'un corps en mouvement se définit, lorsqu'elle est uniforme, ce qu'on peut toujours admettre en considérant un espace de temps très petit, par le rapport $\frac{L}{T}$ de l'espace parcouru L au temps employé à le parcourir, T ; elle est égale à l'unité lorsque ce rapport est égal à 1, et par conséquent, lorsque $L = 1$ et $T = 1$. Les dimensions de l'unité de vitesse sont donc $\left(\frac{L}{T}\right)$ ou

$$(LT^{-1})$$

Dans le système C. G. S, l'unité de vitesse est celle d'un corps qui parcourrait d'un mouvement uniforme 1 centimètre par seconde. La vitesse d'un train marchant à raison de 30 kilomètres par heure serait exprimée en unités C. G. S, par $\frac{3.000.000}{60 \times 60}$ ou environ 833 $\frac{\text{centimètres}}{\text{secondes}}$.

6. *Accélération.* — L'accélération est le rapport de l'accroissement de vitesse d'un mobile soumis à une force constante au temps pendant lequel agit cette force. Si V est l'accroissement de vitesse qui correspond au temps T, l'accélération, A, est $A = \frac{V}{T}$. L'unité d'accélération correspond au cas où $V = 1$ et $T = 1$. Dans le système C. G. S, c'est celle d'un mobile dont la vitesse s'accroîtrait de 1 centimètre par seconde au bout d'une seconde. Les dimensions de l'accélération A s'obtiennent en remplaçant, dans la fraction $\frac{V}{T}$, V par $\left(\frac{L}{T}\right)$, ce qui donne :

$$(LT^{-2})$$

L'accélération par seconde due à la pesanteur est, à Paris, de $9^m,8094$. En unités C. G. S, elle est égale à 980,94, ou environ 981.

7. *Quantité de mouvement.* — La quantité de mouvement est le produit MV d'une masse, M, par sa vitesse V; l'unité correspond au cas où $M = 1$ et $V = 1$.

Les dimensions de la quantité de mouvement sont :

$$(LMT^{-1})$$

8. *Force.* — Une force constante est représentée par le produit MA de la masse, M, sur laquelle elle agit par l'accélération, A, qu'elle communique à cette masse; les dimensions de l'unité sont :

$$(LMT^{-2})$$

Dans le système C. G. S, l'unité de force est la force constante qui imprimerait, au bout d'une seconde, à une masse d'un gramme une vitesse égale à 1 centimètre par seconde. La commission de la société de physique de Londres a proposé de donner le nom de *dyne* à cette unité, en employant le préfixe *méga* pour représenter un multiple d'un million : 1 mégadyne = 1.000.000 dynes.

La force désignée sous le nom de gramme appliquée à l'unité de masse M (masse du gramme) lui imprime au bout d'une seconde une vitesse égale à 981 centimètres par seconde : elle est représentée par ce nombre dans le système absolu C. G. S.

On peut donc poser 1 gramme = 981 dynes, ou 1 dyne $= \frac{1}{981}$ grammes soit environ 1 milligramme. 1 kilogramme est égal à 981.000 dynes ou à 0,981 mégadine. 1 mégadyne représente à peu près une force égale à un kilogramme.

9. *Travail, énergie, force vive.* — Le travail d'une force est le produit de l'espace que parcourt son point d'application par la projection de cette force sur la direction de trajectoire. Ce travail est positif ou négatif, suivant que la force se projette dans la direction du mouvement ou dans une direction contraire ; il est égal au produit de la force par l'espace parcouru si la trajectoire est rectiligne et si la force agit suivant la ligne qui représente le mouvement.

Si W est le travail, L l'espace parcouru pendant un espace de temps quelconque, et F la force qui agit dans la direction du mouvement, on a :

$$W = LF.$$

L'unité de travail correspond au cas où L = 1 et

$F = 1$; ses dimensions s'obtiennent en remplaçant F par (LMT^{-2}), ce qui donne

$$[L^2MT^{-2}]$$

Dans le système C. G. S, l'unité de travail est celui d'une dyne, lorsque l'espace parcouru est égal à 1 centimètre. On a proposé pour cette unité le nom d'*erg*.

1 gramme-mètre est égal à 981 dynes $\times$ 100 cent., ou à 98.100 ergs, et par suite :

$$1 \text{ erg} = \frac{1}{98\,100} \text{ gramme-mètre} = 0^{gm},00000102.$$

1 gramme-centimètre = 981 ergs.

1 kilogramme.-mètre = 98100000 ergs.

10. La force vive d'un corps en mouvement est le produit MV^2 de sa masse M par le carré de sa vitesse V. L'énergie cinétique (ou énergie due au mouvement) est la moitié de ce produit, ou $\frac{1}{2}MV^2$. Un mobile en mouvement sous l'action d'une force prend une vitesse telle que l'accroissement de son énergie cinétique, $\frac{1}{2}MV^2$, est égal au travail FL de la force pendant le même temps. Les dimensions de l'énergie sont donc les mêmes que celles du travail. En remplaçant V par $\frac{L}{T}$, on trouve, en effet, pour ces dimensions, en négligeant le coefficient fixe $\frac{1}{2}$

$$(L^2MT^{-2}.)$$

11. *Chaleur.* — On sait que la chaleur peut se transformer en travail.

Il est donc naturel de prendre pour unité de chaleur dans le système C. G. S, la quantité équivalente à l'erg.

L'unité ordinairement adoptée pour la chaleur, qui porte le nom de calorie, représente la quantité de cha-

leur nécessaire pour élever à 1° centigrade 1 centimètre cube d'eau. Des expériences nombreuses ont été faites pour déterminer le travail correspondant à cette quantité de chaleur; ce travail constitue l'équivalent mécanique de la chaleur.

Les nombres trouvés pour cet équivalent par MM. Joule, Hirn, Regnault, etc., varient entre 425 et 437; on adopte ordinairement le nombre 428.

La calorie est donc équivalente à 428 grammes-mètres, ou à 42.800 grammes-centimètres, soit, en unités absolues C.G.S, 42.800×981 ergs ou environ $42.000.000 = 4{,}2 \times 10^7$ ergs.

Unités magnétiques.

12. Les grandeurs magnétiques peuvent se mesurer sans qu'il soit nécessaire de faire aucune hypothèse particulière sur l'origine première du magnétisme.

Un corps aimanté se comporte comme si dans les diverses parties de son volume étaient répandus deux fluides jouissant de propriétés contraires et dont les quantités totales sont égales. L'un d'eux est appelé fluide nord ou austral et l'autre fluide sud ou boréal. Ces deux fluides s'annulent lorsqu'ils sont répandus en quantités égales dans un petit espace, ce qui a conduit à leur donner aussi les noms de fluide *positif* et fluide *négatif* et permet de les traiter dans le calcul comme des quantités algébriques de signes contraires.

Dans les aiguilles régulièrement aimantées, le fluide austral se trouve à l'une des extrémités et le fluide boréal à l'autre.

Chacun de ces fluides jouit de la propriété d'attirer le fluide de nom contraire et de repousser celui de même

nom; la force qui s'oppose à la réunion des deux fluides dans un corps aimanté est dite force coercitive.

13. *Intensité d'un pôle magnétique.* — Le pôle d'une masse magnétique, ou d'un espace occupé par un fluide magnétique, est le point d'application de la force exercée sur cette masse par un aimant éloigné. Son intensité est proportionnelle à la grandeur de cette force. On peut donc comparer les intensités magnétiques de pôles différents en mesurant les forces exercées sur eux par un aimant fixe situé à une distance constante.

La force répulsive qui agit sur deux pôles magnétiques d'intensité μ et μ' situés à une distance L est proportionnelle à $\frac{\mu\mu'}{L^2}$ (loi de Coulomb). Si F représente cette force, on peut poser, en supprimant tout coefficient numérique :

$$F = \frac{\mu\mu'}{L^2}.$$

La force est répulsive, si μ et μ' sont de même signe, et attractive, lorsque les deux masse μ et μ' sont de signes contraires.

Si les pôles μ et μ' sont égaux, on a :

$$F = \frac{\mu^2}{L^2} \quad \text{d'où} \quad \mu = L\sqrt{F}.$$

L'unité de pôle magnétique correspond au cas où L et F sont égaux aux unités de longueur et de force. L'unité de pôle magnétique, P, qui s'applique au fluide nord ou positif, est donc représentée par $LF^{\frac{1}{2}}$, ce qui donne pour ces dimensions, en remplaçant F par (LMT^2),

$$\left(L^{\frac{3}{2}} M^{\frac{1}{2}} T\right)$$

14. On pourrait déterminer les intensités absolues des pôles magnétiques de plusieurs aimants en mesurant les

forces qu'exercent entre eux les pôles de ces aimants mis en présence à des distances connues. Si μ, μ', μ'' sont les intensités de ces pôles, une première expérience ferait connaître le produit $\mu\mu' = A$, soit en se bornant à envisager l'action des pôles en présence, si les aimants sont assez longs, soit en tenant compte des actions mutuelles des quatre pôles. Une seconde expérience donnerait de même le produit $\mu\mu'' = B$; enfin une troisième le produit $\mu'\mu'' = C$. On en déduirait :

$$\mu = \sqrt{\frac{AB}{C}};$$

mais on comprend qu'une pareille détermination est plutôt théorique que pratique.

15. *Champ magnétique.* — Tout espace dans lequel se manifestent des forces magnétiques constitue un champ magnétique.

Un champ magnétique est défini par la grandeur de la force qui agirait en chaque point sur l'unité de pôle magnétique et constitue l'intensité magnétique du champ, et par la direction de cette force. Si H est l'intensité d'un champ magnétique en un point et μ celle d'un pôle placé en ce point, la force F qui agit sur le pôle est $F = \mu H$, d'où l'on déduit, si F et μ sont déterminés en unités absolues : $H = \frac{F}{\mu}$.

Si F est l'unité de force, et μ l'unité de pôle magnétique P, on a l'unité de champ magnétique $H = \frac{F}{P}$. Les dimensions du champ s'obtiennent en remplaçant F et P par leurs propres dimensions, ce qui donne pour celles de H

$$\left(L^{-\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}\right).$$

L'intensité d'un champ varie ordinairement d'un point à un autre, mais si les pôles magnétiques qui le produisent sont suffisamment éloignés, cette intensité peut être considérée comme uniforme dans un espace plus ou moins étendu, le champ est dit *uniforme*. Quant à la direction des lignes de force elle est donnée par la position que prend la ligne des pôles, ou l'axe magnétique d'un aimant libre de se mouvoir dans tous les sens.

16. *Moment magnétique.* — Le moment magnétique d'un aimant est le produit LP de l'intensité P de l'un de ses pôles par leur distance L, ou plus exactement, c'est le rapport du couple de rotation auquel est soumis un aimant, placé dans champ magnétique normalement aux lignes de force, à l'intensité de ce champ.

Si LF représente ce couple de rotation et si H est l'intensité du champ magnétique, le moment magnétique de l'aimant est $\frac{LF}{H}$. Ses dimensions sont :

$$\left(L^{\frac{5}{2}}M^{\frac{1}{2}}T^{-2}\right).$$

La durée t des oscillations simples d'un aimant de moment LP, placé dans un champ uniforme et mobile autour de son centre est donnée par la formule du pendule composé :

$$t = \pi\sqrt{\frac{\Sigma mr^2}{LPH}}$$

dans laquelle Σmr^2 est le moment d'inertie de l'aiguille par rapport à l'axe de rotation, normale aux lignes de force.

17. *Magnétisme terrestre.* — Il existe en chaque point de la surface de la terre un champ magnétique dont l'intensité, ainsi que la direction des lignes de force, varie d'un lieu à un autre : dans un espace restreint, ce

champ peut être considéré comme uniforme et peut être défini soit par les composantes suivant trois axes fixes de la force magnétique, c'est-à-dire de la force qui agirait sur l'unité de pôle magnétique, soit par la direction des lignes de force et l'intensité de la force ou de l'une de ces composantes.

On définit ordinairement ce champ par l'angle que forme la direction de la force magnétique avec *le plan horizontal*, angle qui constitue l'inclinaison, par l'angle que forme le plan vertical passant par les lignes de force avec le plan méridien (déclinaison) et par la grandeur de la composante horizontale de la force magnétique.

Le premier angle est donné directement par la boussole d'inclinaison, le second par la boussole de déclinaison : quant à la grandeur de la composante horizontale, sa détermination est assez délicate et comporte deux expériences distinctes, car la force qui agit sur le pôle d'une aiguille aimantée est proportionnelle au produit de l'intensité du magnétisme terrestre par l'intensité des pôles de cette aiguille.

En faisant osciller une aiguille aimantée et mesurant la durée d'une oscillation simple, on a, en appliquant la formule précédente (n° 16):

$$\mathrm{LPH} = \pi^2 \Sigma mr^2 \times \frac{1}{\tau^2}.$$

On peut éviter le calcul du moment d'inertie Σmr^2 en appliquant la méthode de Gauss qui consiste à fixer sur le barreau aimanté deux masses égales placées de part et d'autre à une égale distance du centre et à mesurer les durées d'oscillations, lorsqu'on fait varier cette distance.

Quant au rapport $\frac{LP}{H}$, il se mesure par la déviation d'une petite aiguille aimantée sous la double influence de la terre et du barreau dont le moment est PH. En plaçant ce dernier normalement à la direction du méridien magnétique et le centre de l'aiguille mobile sur une normale au barreau passant par son centre, deux expériences correspondant à des distances différentes, suffisent pour déterminer le rapport $\frac{LP}{H}$.

Du produit LPH, et du rapport $\frac{LP}{H}$, on déduit la valeur de H.

L'inclinaison, la déclinaison et l'intensité horizontale du magnétisme terrestre sont soumis en chaque point de la terre à des variations continues dont les unes sont journalières, les autres sont annuelles et les autres séculaires. Pendant les aurores boréales, les éléments magnétiques subissent, en outre, des variations irrégulières dont l'origine n'est pas encore bien connue.

D'après les renseignements que M. Mascart a bien voulu nous communiquer, les trois composantes du magnétisme terrestre, qu'on détermine chaque jour à l'observatoire du Parc Saint-Maur, étaient le 30 janvier 1883 :

1° Inclinaison.	65°17′
2° Déclinaison.	16°33′
3° Composante horizontale	0,1932

ce qui donne pour la valeur absolue du magnétisme terrestre $\frac{0,1932}{\cos 65°17'} = 0,462$, en unités C.G.S.

E. E. Blavier.

CHRONIQUE.

Exposition internationale d'électricité de Vienne de 1883.

Règlement général.

ART. 1er.

L'Exposition internationale d'électricité à Vienne a été autorisée par décret du ministère impérial et royal du commerce en date du 8 juin 1882, n° 17 202, et la rotonde ainsi que ses annexes, provenant de l'exposition universelle de 1873, ont été affectées à ce but.

ART. 2.

Cette exposition sera ouverte du 1er août 1883 au 31 octobre 1883.

ART. 3.

Pour l'organisation et l'exécution de l'exposition internationale d'électricité, il existe une commission, qui a assuré par souscription les fonds nécessaires.

La commission choisit parmi ses membres un comité central, un comité de finances, un comité technique, un comité d'organisation et formera au besoin d'autres comités.

Un comité de direction est chargé de l'exécution des décisions prises dans la commission et dans les comités, ainsi que de la direction générale de tout ce qui concerne l'exposition.

Toute communication avec les représentants des pays étrangers, les exposants ou leurs représentants se fera par l'intermédiaire du comité de direction.

ART. 4.

Les principaux objets admis à être présentés sont compris dans l'énumération sommaire suivante :

Groupe I. Machines magnéto-électriques et dynamo-électriques.

Groupe II. Piles et accessoires. Batteries secondaires. Piles thermo-électriques.

Groupe III. Appareils scientifiques. Appareils servant aux mesures électriques. Appareils électro-statiques.

Groupe IV. Télégraphie.

Groupe V. Téléphonie.

Groupe VI. Lumière électrique.

Groupe VII. Moteurs électriques. Transport et distribution de force.

Groupe VIII. Câbles, fils et accessoires.

Groupe IX. Application de l'électricité à la chimie, à la métallurgie, à la galvanoplastie.

Groupe X. Application de l'électricité à l'art militaire.

Groupe XI. Application de l'électricité aux chemins de fer.

Groupe XII. Application de l'électricité à la navigation, aux mines et à l'agriculture.

Groupe XIII. Application de l'électricité à la médecine et à la chirurgie.

Groupe XIV. Appareils enregistreurs. Horlogerie électrique. Application de l'électricité à la météorologie, à l'astronomie et à la géodésie.

Groupe XV. Appareils et ustensiles divers.

Groupe XVI. Application de l'électricité aux usages domestiques, aux objets d'art et à l'ornementation.

Groupe XVII. Mécanique générale. Chaudières. Machines à vapeur. Machines à gaz. Moteurs hydrauliques.

Groupe XVIII. Collections historiques et bibliographiques. Ouvrages concernant l'enseignement de la science et de l'industrie électrique.

ART. 5.

Les demandes d'admission rédigées autant que possible suivant le modèle annexé au présent règlement, devront être parvenues au comité de direction à Vienne, Wallfischgasse 9, le 1er mars 1883, au plus tard. Des formules imprimées de demandes d'admission sont tenues à la disposition des intéressés ; aux bureaux du comité de direction, des chambres de commerce, des sociétés scientifiques et industrielles, et à l'étranger : aux consulats d'Autriche-Hongrie.

Au besoin, on formera des comités locaux qui correspondent avec le comité de direction.

ART. 6.

La décision au sujet de l'admission des objets présentés est réservée à la commission, et il en sera donné avis aux exposants 15 jours après réception de leurs demandes.

ART. 7.

L'étendue de l'espace définitivement accordé aux exposants leur sera notifiée jusqu'au 1er mai 1883, au plus tard.

ART. 8.

Les exposants n'auront aucun loyer à payer pour l'occupation des emplacements qui leur auront été accordés.

La commission prend à sa charge la mise en état et la décoration générale des locaux de l'exposition. Les exposants devront pourvoir à leurs frais à l'installation et à la décoration particulière de leurs emplacements respectifs.

Les plans de ces installations devront, avant leur exécution, être soumis à l'approbation du comité de direction.

ART. 9.

La force motrice, demandée par les exposants, leur sera calculée à raison de 20 kreuzers (50 centimes) par cheval-vapeur et par heure.

La force motrice nécessaire aux travaux de la commission scientifique sera mise gratuitement à sa disposition.

ART. 10.

L'exposition sera ouverte au public tous les jours deux fois, le jour et le soir; les heures seront fixées et publiées en son temps.

ART. 11.

Les exposants ont droit à des cartes d'entrée gratuites pour eux ou leurs représentants et pour un nombre correspondant d'aides et d'ouvriers.

ART. 12.

La commission pourvoira à une surveillance rigoureuse des locaux de l'exposition, au maintien de l'ordre, ainsi qu'aux

précautions contre le vol et le feu, mais elle ne sera aucunement responsable des pertes causées par dégâts, vols ou incendies.

L'assurance des objets reste à la charge et aux frais des exposants.

ART. 13.

Les exposants devront, dans l'installation et le service de leurs objets, prendre les précautions nécessaires afin d'éviter tout danger pour le public et les bâtiments, et se conformer à cet égard aux prescriptions de la commission.

ART. 14.

Les objets devront rester exposés au public tous les jours et pendant toute la durée de l'exposition, aux heures d'entrée fixées.

Les objets exposés ne pourront être retirés avant la clôture de l'exposition, sans une autorisation spéciale de la commission.

ART. 15.

Les exposants devront pourvoir eux-mêmes à l'entretien et au nettoyage de leurs installations.

ART. 16.

Les objets seront exposés aux noms des fabricants. Ils pourront cependant, avec l'assentiment de ces derniers, porter le nom de la raison autorisée à leur vente.

Chaque installation devra porter d'une manière évidente le nom ou la raison de l'exposant.

ART. 17.

La copie et la reproduction par dessin, photographie ou autres procédés, des objets exposés ne pourra se faire qu'avec l'assentiment des exposants et l'autorisation de la commission.

ART. 18.

La vente et la livraison immédiate des objets exposés pourra se faire avec l'autorisation de la commission, mais tout objet enlevé devra être aussitôt remplacé par un duplicata.



ART. 19.

La réception des objets, dans l'enceinte de l'exposition, commencera le 1er juin 1883.

Tous les objets devront être entièrement déballés et installés jusqu'au 15 juillet 1883.

Passé ce terme, la commission pourra disposer des emplacements non occupés.

La commission aura le droit de faire achever, aux frais de l'exposant, les travaux d'installation, qui ne seront pas terminés à temps ou d'exclure entièrement les retardataires.

ART. 20.

Les exposants devront avoir pourvu à l'enlèvement et à l'évacuation de leurs installations un mois après la clôture de l'exposition. Ce terme écoulé, la commission fera enlever et déposer en lieu convenable, aux frais, risques et périls des exposants, les objets qui n'auront pas été enlevés des locaux de l'exposition.

Si, dans le délai de six mois après la clôture de l'exposition, les exposants n'ont pas encore disposé de ces objets, on procédera à leur vente et le produit sera employé dans le sens de l'article 27.

ART. 21.

La commission a fait les démarches nécessaires pour que les objets d'exposition jouissent, dès leur entrée dans le local de l'exposition jusqu'à leur sortie, des droits de brevets d'invention et pour que les objets provenant de l'étranger, en cas de leur réexportation jusqu'à la fin de l'année 1883, soient affranchis de la douane.

Les instructions ultérieures relatives à ce sujet seront publiées à temps.

ART. 22.

Il n'y aura pas de jury. Pendant la durée de l'exposition on constituera une commission techno-scientifique qui, de concert avec les exposants, fera des essais électro-techniques et d'autres recherches scientifiques et décernera des certificats sur les résultats obtenus.

ART. 23.

La commission prendra ses mesures pour que des conférences et des démonstrations techniques et scientifiques aient lieu conjointement avec l'exposition.

ART. 24.

Un catalogue complet sera publié par la commission à l'ouverture de l'exposition.

ART. 25.

D'autres règlements et programmes particuliers concernant le service de l'exposition, le service des machines, l'emploi de la force motrice, les essais scientifiques, le transport des objets, les insertions et autres, seront adressés dans son temps aux exposants.

Il leur sera fait aussi communication de toutes les mesures et de tous les détails qui les concernent.

ART. 26.

La commission décide, en dernier ressort, dans tous les cas de doute, de litige ou de plainte.

ART. 27.

Le bénéfice éventuel de l'exposition sera, avec l'approbation du ministère du commerce, consacré à des institutions publiques poursuivant les buts scientifiques de l'exposition ou à des inventions importantes dans le domaine de l'électricité.

Vienne, le 6 décembre 1882.

Pour la commission d'exposition :

Le Président honoraire : Comte HANS VILCZEK.

Le Président : Baron VICTOR D'ERLANGER.

Le Comité de direction :

RODOLPHE, chevalier de GRIMBURG; Charles PFAFF.

L'aurore boréale et le téléphone.

Note de M. G. de Lalagade.

Le 17 novembre, vers midi, je fus surpris d'entendre, dans un téléphone placé sur un circuit souterrain, un roulement assez faible, mais rappelant le bruit d'une bobine Ruhmkorff, ou le tremblement d'une sonnerie électrique. L'aiguille du galvanomètre, qui d'ordinaire marquait de 10° à 15° de déviation (courant terrestre), dépassait 20° et oscillait fréquemment. Sur chacun des quatre circuits aériens et souterrains que j'ai installés depuis bientôt une année, selon l'orientation nord et sud, est et ouest, avec des contacts à la terre, formés par des blocs de charbon de cornue, je plaçais tour à tour téléphone et galvanomètre ; le roulement s'entendait beaucoup mieux lorsque le téléphone était intercalé dans le circuit allant de la plaque nord à la plaque sud.

J'ai passé plusieurs heures à écouter ce bruit ; par moment le roulement était subitement entrecoupé par un bruit sec, suivi d'un silence, ou s'affaiblissait jusqu'à ne plus être perceptible ; puis il reprenait brusquement son maximum d'intensité. Ces perturbations électriques, observées surtout sur le fil souterrain de direction nord-sud, ce roulement téléphonique, qui ne ressemblait aucunement aux bruits qui se produisent dans la journée, surtout lorsque le temps est orageux, la déviation exagérée du galvanomètre, les légères oscillations de la boussole de déclinaison, ne laissaient aucun doute sur l'existence d'une aurore boréale, invisible sous la latitude où je me trouvais, 43° 35′ 44″. — Au coucher du soleil, le temps était toujours pluvieux, de gros nimbus obscurcissaient la région nord du ciel ; vers 6^{h} du soir, au milieu d'une éclaircie au nord-ouest, on put voir une lueur rouge, à travers laquelle brillaient quelques étoiles ; un rayon perpendiculaire d'une belle couleur rose descendait vers l'horizon.

Dans la soirée, j'allai trouver le directeur des postes et des télégraphes qui s'empressa de me fournir tous les renseignements sur les perturbations observées sur les lignes télégraphiques. Dès 10^{h} 30^{m} du matin, les appareils marchaient seuls, les sonneries étaient agitées, la correspondance était

impossible par moment, même sur les courtes lignes qui rayonnent dans le département ; sur les longues lignes, surtout celle de Paris, les perturbations étaient très fortes. J'ai pu me rendre compte par moi-même que tous les fils de la région du nord et de l'est étaient les plus éprouvés. Vers 7h du soir, le roulemement n'était pas sensible dans le téléphone ; mais un petit bruit sec, régulier, sorte de petit battement très lent, s'entendait encore. Vers 8h du soir, même sur les longues lignes télégraphiques, toute perturbation avait entièrement cessé.

J'ai déjà montré, dans plusieurs Notes, les services que le téléphone peut rendre à la météorologie. On vient de voir que l'observation assidue de cet appareil, placé sur divers circuits orientés, m'a révélé, par des bruits anormaux et bien caractérisés l'existence d'une aurore boréale. La grande sensibilité du téléphone en fait un appareil précieux pour ce genre d'études : c'est un nouveau moyen d'apprécier les plus faibles variations dans l'intensité du phénomène.

Effet de la foudre au sommet du Puy-de-Dôme.

Note de M. ALLUARD.

Au moment où l'étude de l'électricité atmosphérique attire l'attention des physiciens, il me semble opportun de faire connaître à l'Académie quelques effets de la foudre au sommet du puy de Dôme.

Sur ce sommet, dont l'étendue comprend à peine 8 à 9 ares, est établie une tour circulaire haute de 8m. Un mât, de forme carrée, fait de bandes de fer angulaires, d'une hauteur de 6m, et maintenu solidement par des haubans en fer, la surmonte. Il porte un anémomètre du système de M. Hervé Mangon, avec quatre hémisphères Robinson en cuivre rouge, de 2mm,5 d'épaisseur. Un escalier formé de lames de fer conduit à un palier construit de la même manière, autour de la partie supérieure du mât, afin de pouvoir nettoyer l'anémomètre toutes les fois que cela est nécessaire. L'ensemble constitue une masse de fer dont le poids atteint plusieurs milliers de kilogrammes et où les parties angulaires dominent.

Deux câbles métalliques de 0m,02 de diamètre, reliés à des câbles de 0m,03, qui pénètrent sur une longueur de plus de 100m dans une couche de terre toujours humide, et se terminent par des plaques de cuivre rouge d'une superficie de 15dmq, établissent la communication avec la terre.

Dans ces conditions, le feu Saint-Elme apparaît fréquemment aux parties les plus saillantes du mât, de ses haubans, et de l'échelle en fer, quelquefois avec un léger sifflement. Nous reviendrons plus tard sur ce phénomène dont nous poursuivons l'étude.

Aujourd'hui, nous nous bornerons à signaler les coups de foudre qui se font sur les hémisphères Robinson en cuivre rouge. Les moitiés supérieures de ces hémisphères sont seules frappées. Toutes portent des traces de fusion : elles sont au nombre de douze sur l'un, de quinze sur le second, de dix-huit sur le troisième et de vingt sur le quatrième. Le cercle en fer, épais de 0m,004, qui les relie, a été fondu aussi sur six points différents. Partout la fusion s'est opérée, aussi bien sur les parties rondes que sur les parties angulaires, et toujours de la même manière. La matière, cuivre ou fer, est fondue sur une étendue variable de 0mmq,5 à 0mmq,4 ou 0mmq,5, puis soulevée sous forme de cône. On dirait un petit cône volcanique au milieu d'un cratère. Tout se passe comme si une force attractive et extérieure soulevait la substance fondue, à la surface des hémisphères. Il serait intéressant de reproduire, au moyen de puissantes machines ou batteries électriques, des fusions semblables sur des hémisphères et des globes d'alliage fusible ou en métal.

Ces phénomènes de fusion sont-ils dus à ce que les métaux sur lesquels ils se produisent communiquent imparfaitement avec la terre, ou bien à ce qu'ils sont environnés de tous côtés par des nuées orageuses? Pour le décider, il faudra préparer des expériences à côté du mât, et sur ce mât même. Nous ne manquerons pas de les tenter, dès que de nouveaux orages paraîtront au sommet du puy de Dôme.

(*Comptes rendus*).

La lumière électrique au théâtre des Variétés.

Depuis deux mois, la lumière électrique *par accumulateurs* brille au théâtre des *Variétés*, à Paris, sans interruption ni défaillance. Voilà un événement artistique qui intéresse tout le monde, un fait industriel sur lequel nous appelons l'attention des ingénieurs.

L'installation comporte 260 lampes à incandescence, modèle Swan, donnant une lumière évaluée à 660 carcels. Ces 260 foyers font une *dépense théorique* d'énergie égale à 2,000 kilogrammètres par seconde, soit 27 chevaux-vapeur.

En pratique, il faudrait une force d'au moins 35 chevaux pour produire directement un pareil éclairage. Grâce à l'emploi des accumulateurs Faure, le résultat est obtenu, avec plus de sécurité et de régularité, au moyen d'un moteur de 12 chevaux, travaillant 15 heures sur 24. Ces chiffres démontrent éloquemment l'utilité trop contestée des accumulateurs, qui permettent de diminuer considérablement le matériel producteur d'électricité. Hâtons-nous d'ajouter que le rapport de 1 à 3 entre la force employée et la force à dépenser, pourrait être diminué encore, en portant à 22 heures la marche quotidienne du moteur. Dans les théâtres qu'on éclaire tous les soirs, la fraction de force motrice ne serait que de *un quart;* pour l'Opéra, qui ouvre quatre soirs sur sept, elle descendrait à *un septième.* Ces résultats sont en contradiction avec les affirmations de quelques électriciens; mais les chiffres que nous allons rapporter (dont chacun peut aisément vérifier l'exactitude), permettront à tout ingénieur de formuler un jugement.

Les lampes, avons-nous dit, sont au nombre de 260. Voici comment elles sont réparties :

Salle de spectacle	60
Rampe	60
Herses	60
Portants	4
Loges d'artistes	8
Foyer	18
Vestibule	20
Couloirs, etc.	30
T	260

Tous ces foyers sont de la même force, sauf les lampes de la rampe qui sont plus faibles. Trois de ces petites lampes, assemblées en tension, équivalent comme lumière et comme dépense à une lampe normale. L'éclairage total équivaut donc à 220 lampes Swan ordinaires.

Les accumulateurs Faure, du poids de 60 kilogrammes, sont assemblés en six séries parallèles de 33 couples chacune : en tout 198 accumulateurs, pesant environ 12 tonnes.

La force motrice est fournie par un moteur à gaz système Otto, de la force nominale de 12 chevaux. Il marche à la vitesse de 114 tours et dépense à l'heure 9 mètres cubes de gaz, ce qui fait évaluer son travail à 11 chevaux environ. Comme générateur d'électricité, on a pris trois machines dynamo-électriques de Siemens, modèle D2 excitées *en dérivation*. Les pôles de ces trois machines sont assemblés *en quantité;* le pôle positif de la batterie de machines est lié aux six pôles positifs des six séries d'accumulateurs, les pôles négatifs étant d'autre part réunis de la même manière. Des deux pôles communs partent, *en dérivation*, les conducteurs distribuant l'électricité aux lampes. Chaque machine peut débiter un courant de 32 ampères avec une tension de 70 volts. Ce débit représente un travail *théorique* de 9 chevaux. Si la force dépensée est de 11 chevaux, le rendement propre des machines est de 9/11.

La force électromotrice de la batterie d'accumulateurs est 66 volts, soit 66/79 de celle de la source. Pour avoir son *rendement*, il faudrait multiplier cette fraction par le *coefficient de restitution* (c'est ainsi que nous avons appelé le rapport entre la *quantité* d'électricité rendue et celle reçue par les *accumulateurs*). Dans l'espèce, ce coefficient doit être peu inférieur à 1, parce que la force électromotrice de charge est voisine de celle de la batterie.

Il ne faut pas faire porter sur les accumulateurs la perte de potentiel subie dans les conducteurs, entre la batterie et les lampes. Cette quantité, d'ailleurs, n'a pas été mesurée, mais on peut la déduire des données que nous possédons.

D'après M. Maurice Simon, les lampes Swan fonctionnent normalement avec une intensité de 1,25 ampères, et une chute

de 50 volts, en donnant une lumière de 2,25 carcels. On trouve donc :

Résistance de la lampe, $R = \frac{E}{I} = 40$ ohms.

Dépense d'énergie, $T = \frac{EI}{g} = 6{,}25$ kilogramm. par seconde.

Lumière obtenue par kilogramm., $K = \frac{2{,}25}{2{,}56} = 0{,}36$ carcel.

D'autre part, dans l'installation des *Variétés*, où les lampes sont poussées au delà de la marche normale, on accuse une intensité de 1,5 ampère par foyer, et un pouvoir éclairant de 3 carcels. Cela donne (en admettant que la résistance de la lampe reste égale à 40 ohms) :

Chute de potentiel dans la lampe $E = IR = 60$ volts ;

Dépense d'énergie, $T = \frac{EI}{g} = 9$ kilogrammètres ;

Lumière obtenue par kilogram., $K = \frac{3}{9} = 0{,}33$ carcel (*).

La chute de potentiel, entre les accumulateurs et les lampes est donc de 6 volts; et la dépense théorique dans les foyers, quand ils fonctionnent tous ensemble, est de deux mille kilogrammètres par seconde, soit 27 chevaux-vapeur.

La lumière obtenue est à peu près équivalente à celle de 660 becs de gaz de 140 litres.

Pour trouver le *rendement final*, c'est-à-dire le rapport entre la quantité d'énergie développée dans le moteur et celle utilisée dans les lampes, il faudrait établir la durée de l'éclairage au moyen d'un pointage exact des heures d'ouverture et de fermeture de tous les circuits partiels, car les temps de travail des diverses séries de foyers sont très dissemblables : le vestibule et les couloirs sont allumés de sept heures à minuit; la salle, de huit heures et demie à onze heures et demie ; la rampe et les herses pendant les actes, le foyer pendant les

(*) Le rendement photométrique d'un foyer électrique croît plus vite que la dépense d'énergie; aussi doit-on, avec le régime forcé imposé aux lampes Swan, obtenir un rendement supérieur à celui de la marche normale. L'évaluation de deux carcels est donc évidemment trop faible, mais nous la conservons pour ne pas appuyer nos raisonnements sur une surélévation de rendement obtenue par un régime qui abrégera sans doute la durée des lampes.

entr'actes ; quelques lampes fonctionnent jour et nuit ; enfin, on diminue parfois la dépense de certains circuits au moyen d'un jeu de rhéostats, pour produire des effets scéniques. A défaut de pointage, nous avons fait une estimation approximative, qui donnerait une marche moyenne de trois heures et demie pour l'ensemble des foyers.

Ainsi, avec une dépense de force motrice de 11 chevaux pendant quinze heures, soit 165 chevaux-heure, on obtient, en définitive, un *travail utile* de 27 chevaux pendant trois heures et demie, soit 94 chevaux-heure (*). Le *rendement définitif* serait donc 94/165, soit 56 p. 100.

N'oublions pas que la perte finale de 44 p. 100 comprend :

a, le frottement des machines dynamo-électriques ;

b, l'énergie dépensée dans leurs circuits inducteurs et induits ;

c, la perte inhérente à l'emploi des accumulateurs ;

d, la chaleur perdue dans les circuits des lampes ;

e, les pertes par dérivations parasites.

A cette liste, il faut ajouter les pertes résultant de la *surcharge* des accumulateurs. Dépourvu qu'on est d'un moyen de mesurer ou de limiter la charge de la batterie, on lui fournit trop d'électricité pour être certain d'en recueillir assez(**).

Enfin l'installation hâtive des *Variétés* comporte des aggravations de perte qu'on évitera dans des ensembles *étudiés et* soignés : les isolements laissent à désirer en beaucoup de points, certains conducteurs sont trop faibles ; il faudrait une grosse machine et non pas trois petites, etc.

Aussi, sans pouvoir établir directement le *rendement* propre des accumulateurs (leur coefficient de restitution n'étant pas connu), on peut, d'après ce qui précède, affirmer qu'ils sont pour la moindre part dans la perte totale de 46 p. 100. Le rendement propre de la batterie Faure est certainement supérieur à 80 p. 100.

Si le moteur s'arrête subitement (cet accident s'est produit

(*) D'après la capacité d'accumulation reconnue aux piles Faure, une batterie de sept tonnes devait suffire pour emmagasiner cette quantité d'énergie.

(**) On pourrait éviter ce gaspillage.

plusieurs fois dans la première soirée), la batterie secondaire débite seule, sans polarisation sensible, le formidable courant de 330 ampères réclamé par les lampes. Le public ne s'aperçoit de rien. Il est inutile d'insister sur l'importance de ce fait.

La quantité de gaz brûlée dans le moteur (*) est de 135 mètres cubes par jour; celle qu'il faudrait brûler chaque soir pour obtenir directement la même quantité de lumière serait de 323 mètres cubes.

Remarquons que l'incandescence confinée, exclusivement employée ici, est, de tous les procédés, celui qui rend le moins de lumière pour une dépense donnée. En combinant ce système avec *l'arc voltaïque* et *l'incandescence libre*, on pourrait augmenter l'éclairage ou diminuer la dépense.

Il reste à établir le prix d'installation et le coût journalier de l'éclairage électrique par accumulateurs. Les renseignements que nous avons donnés permettent aux ingénieurs de dresser un devis pour une installation d'une importance déterminée; car tous les appareils employés sont tarifés dans le commerce, à l'exception des accumulateurs, dont le prix de revient peut être approximativement évalué à 1000 francs la tonne.

Quiconque voudra prendre la peine d'établir deux devis comparatifs, avec et sans accumulateurs, pour un éclairage de moins de 2,500 heures par an, constatera que la dépense première, l'amortissement, le loyer, et, par suite, la *dépense journalière*, sont beaucoup diminués par l'emploi des piles secondaires. Dans les grandes installations, on trouvera l'électricité économique, même en recourant, pour la produire, à la force coûteuse du moteur à gaz.

Cette question d'économie est importante; mais il serait injuste de n'envisager qu'elle dans les comparaisons que l'on fait entre le gaz et l'électricité. Au point de vue esthétique, aux points de vue de la sécurité et de l'hygiène, la lumière électrique a des qualités qui en font un éclairage de grand luxe.

(*) L'exiguïté de la cave affectée aux machines et l'impossibilité d'établir une cheminée sur le passage des Panoramas, ont empêché d'employer une machine à vapeur, dont le travail coûterait quatre fois moins.

On la verra donc se propager de plus en plus vite, malgré les protestations de ceux qui se croient intéressés à entraver ses progrès. On verra aussi l'*accumulation voltaïque* tenir toutes nos promesses, malgré les rudes combats qu'il nous fallut soutenir à l'époque, encore bien récente, où nous exposions les grandes conséquences industrielles de l'idée de Planté.

(*Génie civil.*) Émile REYNIER, *électricien.*

Mesure des forces électromotrices des piles par la balance de torsion.

Sir William Thomson a évalué en unités électro-statiques la force électromotrice de l'élément Daniell au moyen de son électromètre absolu et a trouvé, en unités G. G. S, le chiffre 0,00378.

M. Baille a fait cette mesure au moyen d'une balance de torsion délicate construite avec le plus grand soin, il a trouvé pour les forces électro-motrices de divers éléments, mesurées en unités électro-statiques G. G. S. (*Journal de physique.*)

Couple Volta.	0,003281
» au sulfate de cuivre (zinc amalgamé, sulfate de cuivre et cuivre).	0,002880
» Daniell.	0,003564
» Leclanché.	0,004488
» au chlorure de platine.	0,004830
» Bunsen.	0,006030

L'électrisation des vins.

Il y a deux ou trois ans, un fait curieux avait accidentellement révélé dans l'électricité le pouvoir d'améliorer et de vieillir le vin et l'eau-de-vie. Un propriétaire avait constaté dans une pièce de vin frappée par la foudre, que ce vin y avait gagné les qualités que les années seules donnent aux bons vins. Il était naturel qu'un tel fait provoquât, de la part des œnologues, des essais d'application de l'électricité au vieillissement des vins, et, ce qui nous étonne, c'est qu'on n'ait pas

eu plus tôt des nouvelles de ce procédé dans un temps où la construction des machines électriques a reçu de si notables perfectionnements et où l'électricité est appliquée avec succès à de si nombreux usages.

Tout récemment le *Journal de Lavaur* a publié une lettre d'un de ses abonnés qui rend compte de l'expérience suivante :

« Disposant d'une machine Gramme (type normal), je construisis d'abord une espèce de voltamètre, en perçant le fond d'un vase de faïence d'une contenance de trois litres environ, pour y disposer deux lames de platine, les électrodes, que je reliai aux bornes de la machine par des fils de cuivre recouverts de soie, d'un diamètre assez fin, mais en rapport, cependant, avec la section des lames de platine.

« Quoique l'emploi d'électrodes et de fils plus gros m'eût donné une action plus énergique, j'ai préféré employer des fils fins, parce que les gaz, en se dégageant plus lentement et en moins grande quantité, doivent mieux pénétrer la masse du liquide, et aussi réduire plus complètement les sels et les acides du vin. Aujourd'hui, après de nombreuses expériences, mon opinion n'est pas modifiée.

« Quand tout fut convenablement disposé, je versai dans le vase deux litres d'un vin venu en plaine, et par conséquent très âpre; puis je fis mettre en marche. Après quinze minutes de traitement, nous goûtâmes le vin, et nous le trouvâmes bien moins âpre, plus doux et meilleur. Je continuai l'expérience encore un quart d'heure; puis, ayant de nouveau goûté le vin, nous pûmes constater qu'il était complètement transformé; il n'avait plus d'âpreté et avait contracté un ton moelleux qui flattait agréablement le palais. Sa couleur était un peu moins foncée et tirait sur le jaune paille. Toutefois son odeur n'avait pas changé d'une manière sensible. Un traitement plus prolongé ne me parut pas alors ajouter beaucoup aux résultats acquis en trente minutes; sans doute pour cette quantité (2 litres), ce laps de temps est suffisant pour que la réaction soit complète.

« Dès cette première expérience, j'étais déjà convaincu que l'électricité donne le moyen d'améliorer les vins; néanmoins, j'en fis encore plusieurs autres sur différentes qualités de



vins, qui me donnèrent toujours d'excellents résultats. Puis, pour m'assurer si, avec le temps, ils perdraient les qualités que l'électricité leur avait données, ou s'ils deviendraient encore meilleurs, je conservai des échantillons de tous les vins traités. Après trois mois, je viens de m'assurer qu'ils n'en ont perdu aucune et qu'il ne s'est formé aucun dépôt.

« Des preuves aussi concluantes m'ont engagé à modifier mes appareils, un peu trop primitifs, en vue d'une production industrielle, et j'espère bientôt pouvoir traiter de grandes quantités de vins au moyen d'un électrolyseur fonctionnant d'une manière continue, d'où le vin suffisamment électrisé s'échappe au fur et à mesure qu'il arrive à cet état. »

On ne peut guère douter, après de tels faits, que l'électrisation des vins et des eaux-de-vie ne soit un moyen assuré de les améliorer et de remplacer l'action des années. Reste la question de connaître le degré d'énergie et la durée de l'action électrique qu'il convient d'appliquer à tel ou tel vin. Une expérience prolongée sera certainement nécessaire pour posséder cette science pratique de l'électrisation des vins; mais, dès aujourd'hui, le principe en lui-même semble assez sûrement établi pour exciter les producteurs à en étudier les applications.

Nous engageons fortement ceux de nos lecteurs qui ont à leur disposition les produits et le matériel nécessaires, à renouveler ces expériences, et à nous en transmettre les résultats que nous nous empresserons de publier.

(*Les Mondes*.)

TABLE DES MATIÈRES.

TOME IXe. — ANNÉE 1882.

Numéro de Janvier-Février.

Pages

Expériences sur la charge et la décharge d'un condensateur à travers une résistance quelconque. 5
Étude des courants de charge et des courants permanents à l'aide d'un galvanomètre Thomson. 20
Application de la radiophonie à la télégraphie électrique multiple inverse. 49
Rappel-sonnerie électrique sans aimant et par inversion de courant, de MM. GRASSI et BEUX. 54
Grande machine d'induction de M. SPOTTISWOODE. 57
Projet de création d'un laboratoire central d'électricité à Paris. 64
Société des ingénieurs télégraphiques et des électriciens. — Extrait du discours prononcé par M. le lieutenant-colonel WEBER, président. 68

CHRONIQUE.

Fils télégraphiques en bronze phosphoreux. 75
Charrue pour les câbles électriques. 78
Sur les causes qui produisent la résonnance des téléphones installés pour transmettre la parole à de longues distances. 80
Avenir des applications électriques. 81
Sur la résistance des liquides à électrodes polarisées. . . 83
Modification du pont Wheatstone. 84
Les piles et les accumulateurs de M. VARLEY. 86

BIBLIOGRAPHIE.

Leçons d'électricité et de magnétisme par MM. MASCART et JOUBERT. 87

Numéro de Mars-Avril.

Rhéostat à cylindres combinateurs de M. GARNIER 89
Télégraphe écrivant de M. JORDERY pour la transmission des dépêches en écriture courante [illegible]

Pages

Le schuntmeter de M. CARDARELLI. 99
Étude des courants de charge et des courants permanents à l'aide d'un galvanomètre Thomson. 102
Appareil pour le rappel des bureaux télégraphiques desservis par un même fil conducteur. 116
Expériences faites sur une pile secondaire de M. FAURE. — Rapport de M. TRESCA. 125
La télégraphie à l'Exposition d'électricité de 1881. 131
Conférence de M. Melsens sur les paratonnerres. 151

CHRONIQUE.

Laboratoire central d'électricité. 170
Académie des sciences, prix Lacaze. 171
Sur une perturbation magnétique. 174
Des variations magnétiques des tiges aimantées pendant les orages. 177
Le sonomètre électrique. 179
Observations sur l'impression produite sur les animaux par la résonnance de la vibration des fils télégraphiques. 180
Théorie de l'électricité d'après Franklin. 182

Numéro de Mai-Juin.

Capacité électro-statique et résistance de l'espace compris entre deux cylindres à base circulaire. 185
Note relative à des expériences faites sur des fils de fer et des fils d'acier. 215
Essai pneumatique d'un conduit télégraphique. 219
Sur la polarisation des électrodes et sur la conductibilité des liquides, expériences de M. BOUTY 234
Étude sur la téléphonie. 243
Note sur la réinstallation du poste central de Paris. . . . 262

CHRONIQUE.

Société des ingénieurs télégraphistes et des électriciens. — Instructions pour prévenir les risques d'incendie provenant de l'éclairage électrique. 267
Expérience de téléphonie avec conducteur interrompu. . 271
Le câble du Saint-Gothard. 272
Application du téléphone au scaphandre. 274
Production de courants électriques instantanés dans les

Pages
fils de fer ou d'acier en les tordant s'ils sont aimantés ou en les aimantant s'ils sont tordus. 277
L'inductophone de M. VILLOUGHBY SMITH. 278

BIBLIOGRAPHIE.
Congrès international des électriciens de 1881. 279

NÉCROLOGIE.
M. ANTOINE BRÉGUET. 279

Numéro de Juillet-Août.

La télégraphie à l'Exposition de 1881 (suite). 281
Exposition universelle d'électricité de 1881. — La télégraphie militaire. 302
Note sur le galvanomètre de M. MARCEL DEPREZ. 315
Note sur le tracé d'une section de ligne souterraine en conduite. 321

CHRONIQUE.
La lumière électrique Edison au « General Post Office » à Londres. 359
Les télégraphes allemands de 1879 à 1881. 361
La téléphonie à grande distance. 379
Recherches sur le téléphone. 385
Nouveau pilon électrique de M. MARCEL DÉPREZ. 387
Sur les courants électriques du sol 390

Numéro de Septembre-Octobre.

Sur les méthodes employées jusqu'à ce jour pour la détermination de l'ohm, par M. WIEDEMANN. 393
Système de transmission sextuple par un seul fil conducteur, de M. J. W. Jones. 425
Les progrès récents de la téléphonie. — Conférence de M. PREECE à l'Association britanique pour l'avancement des sciences. 439
Inauguration de la statue élevée à A.-C. Becquerel. . . . 461

CHRONIQUE.
Conférences internationales pour la fixation des unités électriques et la protection des câbles sous-marins. 470
Exposition de Bordeaux. 470
Exposition d'électricité de Munich. 471

Pages

Méthode thermoscopique de M. LIPPMANN pour la détermination de l'ohm. 473
Nouveau procédé d'isolement des fils électriques à l'aide de l'amiante. 474
Sur la variation du frottement produite par la polarisation voltaïque. 475
Sur l'amplitude des vibrations téléphoniques. 477
Sur quelques théorèmes d'électricité, démontrés d'une manière inexacte dans les ouvrages didactiques. 478
La force coercitive de l'acier, rendue permanente par la compression. 481

BIBLIOGRAPHIE.

Manuel de télégraphie pratique de M. CULLEY, traduit par MM. BERGER et BARDONNAUT. — Unités et constantes physiques, par J.-D. EVERETT, traduit de l'anglais. — Bulletin de la compagnie internationale des téléphones. 483

NÉCROLOGIE.

Le général CH. DE LUEDERS. 487

Numéro de Novembre-Décembre.

Étude sur la téléphonie (suite). 489
Note relative à l'influence de la propreté des isolateurs sur l'isolement des lignes. 511
Rapport du jury international de l'Exposition d'électricité de 1881. (Extrait.). 513
Conférences internationales pour la détermination des unités électriques et la protection des câbles. 536
Revue des diverses méthodes de détermination de l'ohm. 560

CHRONIQUE.

Exposition internationale d'électricité de Vienne (1883); règlement général. 572
L'aurore boréale et le téléphone. 578
Effet de la foudre au sommet du Puy-de-Dôme. 579
La lumière électrique au théâtre des Variétés. 581
Mesure des forces électro-motrices des piles par la balance de torsion 586
L'électrisation des vins. 586

TABLE ALPHABÉTIQUE ET SIGNALÉTIQUE

DES MATIÈRES.

TOME IXᵉ. — ANNÉE 1882.

A

Ader. Téléphone, 256.
Allùard. Effet de la foudre au sommet du Puy-de-Dôme, 579.
Amplitude des vibrations téléphoniques, 477.
Applications électriques, leur avenir, 81.
Arsonval (d'). Recherches sur le téléphone, 385. — Système téléphonique, 492.
Aurore boréale (L') et le téléphone, 578.

B

Baille. Mesure de la force électro-motrice des piles par la balance de torsion, 586.
Baillehache. Téléphone, 259.
Banneux. La téléphonie à grande distance, 379.
Bardonnaut. Traduction du Manuel de télégraphie pratique de M. Culley, 483.
Bassompierre. Système téléphonique, 489.
Becquerel. Inauguration de la statue élevée à A.-C. Becquerel, 460.
Berger. Traduction du Manuel de télégraphie pratique de M. Culley, 483.
Bert. Système téléphonique, 492.
Beux. Rappel-sonnerie électrique sans aimant, 54.
Bibliographie. Leçons d'électricité et de magnétisme, par MM. Mascart et Joubert, 87. — Congrès international des électriciens, de 1881; comptes rendus des travaux, 279 — Manuel de télégraphie de Culley, 483. — Unités et constantes physiques, par Everett, 484. — Bulletin de la Société internationale des téléphones, 486.
Black. — Téléphone, 248.
Blavier. Capacité électro-statique et résistance de l'espace compris entre deux cylindres à base circulaire, 185. — Revue des diverses méthodes de détermination de l'ohm, 360.
Blyte. Le sonomètre électrique, 179.
Bordeaux. Exposition d'électricité de Bordeaux, 470.
Bourdin. Charrue à poser les câbles électriques, 78.
Bouty. Sur la polarisation des électrodes et sur la conductibilité des liquides, 234.
Bréguet (Antoine), 279.
Bronze phosphoreux pour fils téléphoniques, 75.
Bulletin de la Compagnie internationale des téléphones, 486.

C

Cable du Saint-Gothard, 272.
Caël. Note sur la réinstallation du poste central de Paris, 262.
Cailho. Charge et décharge d'un condensateur à travers une résistance, 5.
Callaud. Rappel des postes, 116.
Capacité électrostatique et résistance de l'espace compris entre deux cylindres à base circulaire, 185.
Cardarelli. Le schuntmeter, 99.
Charge et décharge d'un condensateur à travers une résistance quelconque, 5.
Charrue à poser les câbles télégraphiques, 78.
Clémandot. La force coercitive de l'acier rendue permanente par la compression, 481.
Cochery, ministre des postes et des télégraphes. Discours prononcé à l'inauguration de la statue de Becquerel, 460. — A la Conférence des unités électriques, 541, 550.
Cohn. Résistance des liquides à électrodes polarisées, 83.
Coincy (de). Rappel des postes, 124.
Condensateurs Varley, 86. — Condensateur parlant, théorie, 496.
Conférences internationales pour la fixation des unités et la protection des câbles sous-marins, 470, 536, 551.
Courants de charge et courants permanents, leur étude à l'aide du galvanomètre Thomson, 20, 102 — Electriques produits dans les fils de fer ou d'acier en les tordant ou en les aimantant, 277.—

électriques à travers le sol, 390. — Rapport de la Commission des courants électriques, 547.
CROSSLEY. Téléphone. 250.
CULLEY. Manuel de télégraphie pratique, traduction, 483.

D

DAUSSIN. Rappel des postes, 118.
DÉCRET organisant un laboratoire central d'électricité à Paris, 67.
DEPREZ (Marcel). Galvanomètres, 315.— Nouveau pilon électrique, 387.
DUMAS. Rapport de la Commission des unités électriques, 544.
DUNAUD. Système téléphonique, 495.

E

ÉCLAIRAGE électrique. Instructions pour prévenir les risques d'incendie, 267.
EDISON. Téléphone, 246.
EFFETS de la foudre au sommet du Puy-de-Dôme, 579.
ELECTRISATION des vins, 586.
ENREGISTREMENT continu d'un courant d'intensité variable. 106.
ESSAI pneumatique d'un conduit télégraphique, 219.
ESSIG. Sur les causes qui produisent la résonnance des téléphones, 80.
ÉTALON de lumière. Rapport de la Commission, 549.
ÉTUDE sur la téléphonie, 243.
EVERETT. Unités et constantes physiques, traduit de l'anglais, 484.
EXPÉRIENCES de téléphonie avec conducteur interrompu, 271.
EXPÉRIENCES faites sur des fils de fer et des fils d'acier, 215.
EXPOSITION d'électricité de 1881. — La télégraphie militaire, 562. — Rapport du jury, extrait, 513. — Exposition de Bordeaux, 470. — De Munich, 471. — De Vienne, 572.
EWING et Fleeming Jenkin. Production de courants électriques dans les fils de fer ou d'acier en les tordant s'ils sont aimantés, ou les aimantant s'ils sont tordus, 277.

F

FAURE. Pile secondaire, 125.
FILS téléphoniques en bronze phosphoreux, 75. — Fils conducteurs à l'exposition d'électricité. 513.
FLEMENG. Modification du pont de Wheatstone, 84.
FRANKLIN. Théorie de l'électricité d'après Franklin, 162.
FORCE coercitive de l'acier rendue permanente par la compression, 481.
FORCE électromotrice des piles mesurée par la balance de torsion, 586.

G

GALLI. Courants électriques à travers le sol, 390.
GALVANOMÈTRE Thomson Son emploi pour l'étude des courants de charge et des courants permanents, 20. — De M. Marcel Deprez, 315.— De MM. Marcel Deprez et d'Arsonval, 316.
GARNIER. Rhéostat à cylindres combinateurs, 89.
GEOFFROY. Isolement des fils à l'aide de l'amiante, 474.
GOWER-BELL. Téléphone, 253.
GRASSI. Rappel-sonnerie électrique sans aimant, 54.

I

IMPRESSION produite sur les animaux par la résonnance de la vibration des fils télégraphiques, 180.
INDUCTION. Grande machine d'induction de M. Spotiswoode, 57.
INDUCTOPHONE de M. Willoughby Smith, 278.
INFLUENCE de la propreté des isolateurs sur l'isolement des lignes, 511.
ISOLEMENT des fils électriques à l'aide de l'amiante, 474.

J

JARRIANT. Isolement des fils télégraphiques à l'aide de l'amiante, 475.
JONES. Transmission sextuple par un seul fil conducteur, 425.
JORDERY. Télégraphe écrivant, 93.
JOUBERT. Leçons d'électricité et de magnetisme, 87.
JURY international de l'exposition d'électricité de 1881. Extrait du rapport, 513.

K

KROUCHKOLL. Variation du frottement produite par la polarisation voltaïque, 475.

L

LABORATOIRE central d'électricité à Paris. Projet de création. 64, 170.
LACAZE. Prix Lacaze, 171.
LAGARDE. Note relative à des expériences faites sur des fils de fer et des fils d'acier, 215. — Note relative à l'influence

de la propreté des isolateurs sur l'isolement des lignes, 511.
LALAGADE (DE). Variations magnétiques des tiges aimantées pendant les orages, 177. — L'aurore boréale et le téléphone, 578.
LE GOARANT DE TROMELIN. Application du téléphone au scaphandre, 274.
LIPPMANN. Méthode thermoscopique pour la détermination de l'ohm, 475.
LOCHT-LABY. Téléphone, 259.
LUEDERS (le général Ch. DE). Nécrologie, 487.
LUMIÈRE (la) électrique Edison au « General post Office » à Londres, 339. — Au théâtre des Variétés, 581.

M

MACHAÏ (Yves). Sur quelques théorèmes d'électricité démontrés d'une manière inexacte dans les ouvrages didactiques, 478.
MAICHE. Téléphone, 268.
MANUEL de télégraphie pratique de Culley, traduit de l'anglais, 485.
MARTEAU-PILON électrique, 387.
MASCART. Leçons d'électricité et de magnétisme, 87. — Sur une perturbation magnétique, 174.
MASSIN, 484.
MELSENS. Conférence sur les paratonnerres, 151.
MERCADIER. Application de la radiophonie à la télégraphie, 49. — Discours prononcé à l'inauguration de la statue de Becquerel, 465.
MESURE des grandes résistances par la charge d'un condensateur, 112.
MINISTRE des postes et des télégraphes. Rapport sur la création d'un laboratoire central d'électricité à Paris, 64. — Discours prononcé à la conférence des unités électriques, 541, 550. — Des affaires étrangères. Ouverture de la conférence des unités électriques, 540.
MONTEFIORE-LEVI. Fils téléphoniques en bronze phosphoreux, 75.
MUNICH. Exposition d'électricité de Munich, 471.

N

NÉCROLOGIE. Antoine Bréguet, 279. — Le général de Lueders, 487.
NERVILLE (DE). Charge et décharge d'un condensateur à travers une résistance quelconque, 5.
NIAUDET. Expériences de téléphonie avec conducteur interrompu, 271.
NIELSEN. Observations sur l'impression produite sur les animaux par la résonnance de la vibration des fils télégraphiques, 180.

O

OHM. Méthodes employées jusqu'à ce jour pour la détermination de l'ohm, 393. — De M. Lippmann, 475. — Revue des diverses méthodes employées pour sa détermination, 560.

P

PARATONNERRES. Conférence de M. Melsens, 151. — Métaux employés pour leur construction, 155. — Prix de revient, 166. — Rapport de la Commission des courants électriques et des paratonnerres, 547.
PERTURBATION magnétique, 174.
PILES Varley, 86. — Secondaires de M. Faure, 125.
PLANTÉ. Prix Lacaze, 171.
POINTES des paratonnerres, 156.
POLARISATION des électrodes et conductibilité des liquides, 234.
PONT de Wheatstone modifié, 84.
POSTE central de Paris, réinstallation, 262.
PREECE. Conférence sur les progrès récents de la téléphonie, 439.
PROJET de convention pour la protection des câbles sous-marins, 356.

R

RADIOPHONIE. Application à la télégraphie, 49.
RAPPEL-SONNERIE électrique sans aimant et par inversion de courant de MM. Grassi et Beux, 54. — Des bureaux télégraphiques desservis par un même fil conducteur, 116.
RAYNAUD. Unités et constantes physiques, traduit de l'anglais, 484. — Extrait du rapport du jury de l'exposition d'électricité de 1881, 573.
RÈGLEMENT général de l'exposition internationale d'électricité de Vienne, 572.
REVUE des diverses méthodes de détermination de l'ohm, 560.
REYNIER. La lumière électrique au théâtre des Variétés, 581.
RHÉOSTAT à cylindres combinateurs de M. Garnier, 89.
ROTHEN. Rappel des postes, 123.

S

SALET. Amplitude des vibrations téléphoniques, 477.
SCHUNTMETER de M. Cardarelli, 99.
SENSIBILITÉ et rapidité des indications d'un galvanomètre, 102.
SIEUR. Étude sur la téléphonie, 243, 489. — Système téléphonique Sieur et Bassompierre, 489.

SMITH (Willoughby). L'inductophone, 278.
SOCIÉTÉ des ingénieurs télégraphiques et des électriciens. Extrait du discours prononcé par le lieutenant-colonel Weber, président, 68. — Instructions pour prévenir les risques d'incendie provenant de l'éclairage électrique, 267.
SONOMÈTRE (LE) électrique, 179.

T

TÉLÉGRAPHE écrivant de M. Jordery, 93. — Hydraulique, 141. — A air, 141. — Acoustique, 142. — Optique, 145.
TÉLÉGRAPHES (LES) allemands de 1879 à 1881, 361.
TÉLÉGRAPHIE (LA) à l'exposition d'électricité de 1881, 131, 281. — Militaire, 363.
TÉLÉPHONIE. Sur les causes qui produisent la résonnance des téléphones à de longues distances, 80. — Étude sur la téléphonie, 243. — Expériences de téléphonie avec conducteur interrompu, 271. — Application du téléphone au scaphandre, 274. — Téléphonie à grande distance, 379. — Recherches sur le téléphone, 385. — Progrès récents, conférence de M. Preece, 439.
TÉLÉRADIOPHONIE électrique multiple inverse, 49.
THÉORÈMES d'électricité démontrés d'une manière inexacte dans des ouvrages didactiques, 478.
THÉORIE de l'électricité d'après Franklin, 182.
THÉVENIN, 484.
TOUANNE (DE LA), 484.
TRACÉ d'une section de ligne souterraine en conduite, 321.
TRANSMISSION de la parole, 132. — De l'écriture, 134. — Des signaux, 136. — Sextuple par un seul fil conducteur, système Jones, 425.
TRESCA. Expériences faites sur une pile secondaire de M. Faure, 125.

U

UNITÉS et constantes physiques, par Everett, traduit de l'anglais, 484. — Unités électriques, conférences sur leur détermination, 556.

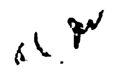
V

VAN RYSSELBERGHE. Système de téléphonie à grande distance, 379.
VARIATIONS magnétiques des tiges aimantées pendant les orages, 177. — Variation du frottement produite par la polarisation voltaïque, 475.
VARLEY. Piles et conducteurs, 86.
VASCHY. Étude des courants de charge et des courants permanents à l'aide du galvanomètre Thomson, 20, 102. — Essai pneumatique d'un conduit télégraphique, 219. — Note sur le tracé d'une section de ligne télégraphique souterraine en conduite, 321.
VIENNE. Exposition internationale d'électricité de 1883, 572.

W

WEBER (Lieutenant-colonel). Extrait du discours prononcé à la Société des ingénieurs télégraphiques et des électriciens, 68.
WEBER. Méthode de Weber pour la détermination de l'ohm, 408.
WIEDEMANN. Méthodes employées jusqu'à ce jour pour la détermination de l'ohm, 393.
WILD. Rapport de la commission des courants électriques *et des paratonnerres*, 547.
WITWER et WETZER. Rappel des postes, 121.

FIN DES TABLES.



Le Gérant : DUNOD.— Imprimerie C. Marpon et E. Flammarion, 26, rue Racine


Digitized by Google

